А. М. ЁРКИН



ЛАМПЫ С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ



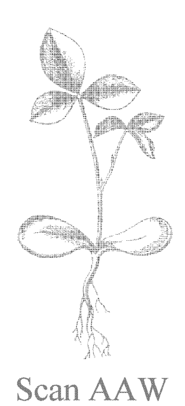
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 803

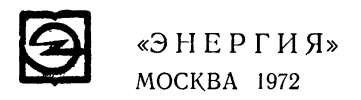
А. М. ЁРКИН

ЛАМПЫ С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ

Издание второе, переработанное и дополненное



Scan AAW



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1972

6Ф2.13
УДК 621.387.3
Е 69

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Берг А. И., Борисов В. Г., Бурдейный Ф. И., Бурлянд В. А., Ванеев В. И., Геништа Е. Н., Демьянов И. А., Жеребцов И. П., Канаева А. М., Корольков В. Г., Кренкель Э. Т., Куликовский А. А., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Шамшур В. И.

Ёркин А. М.

Е 69 Лампы с холодным катодом. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1972.

96 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека, вып. 803).

Кратко излагаются физические процессы проводимости газов и эмиссии с холодного катода. Рассматриваются разновидности и ассортимент выпускаемых газоразрядных ламп с холодным катодом. Приводятся их основные характеристики, таблицы параметров, режимы включения и практические схемы на наиболее распространенных лампах.

Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

$\frac{3\text{-}4\text{-}5}{358\text{-}72}$ 6Ф2.13

Александр Михайлович Ёркин

Лампы с холодным катодом

Редактор *Б. Н. Лозицкий*

Редактор издательства *Т. В. Жукова*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Технический редактор *О. Д. Кузнецова*

Корректор *В. С. Антипова*

* * *

Сдано в набор 21/X 1971 г. Подписано к печати 30/III 1972 г. Т-06118
Формат 84×108$^{1}/_{32}$ Бумага типографская № 2 Усл. печ. л. 5,04
Уч.-изд. л. 6,84 Тираж 30 000 экз. Зак. 423 Цена 28 коп.

* * *

Издательство „Энергия". Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

* * *

Московская типография № 10 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Шлюзовая наб., 10.

Глава первая

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ В ГАЗАХ

Классификация электрических разрядов

Работа ионных ламп с холодным катодом и многообразие их свойств связаны с прохождением электрического тока через газы, наполняющие лампы. С рассмотрения механизма электропроводности газов мы и начинаем знакомство с этими лампами.

В обычных условиях газы и, в частности, воздух ионизируются космическими лучами и радиоактивным излучением земной коры и атмосферы. Однако интенсивность этих ионизаторов мала, поэтому число ионов и электронов в газе ничтожно. Например, в 1 *см*^{3} воздуха, состоящем из $2{,}7 \times 10^{19}$ нейтральных молекул, содержится приблизительно 1 000 ионов обоих знаков. Это число несколько возрастает летом и уменьшается зимой.

Такая ничтожная ионизация ($10^{-14}\%$) атмосферного воздуха позволяет считать его в первом приближении диэлектриком и его изолирующие свойства широко применять в электротехнике (провода электрической сети, телеграфа, трамвая и т. д.).

Однако в достаточно сильных электрических полях присутствие в газах даже такого малого количества свободных электронов и ионов играет существенную роль (как мы увидим далее) в возникновении значительной электропроводности газа.

Если в объеме ионизированного газа возбудить электрическое поле, то под действием сил этого поля электроны и отрицательные ионы начнут перемещаться в одну сторону, а положительные ионы — в противоположную. В результате в газе возникнет электрический ток. Процесс прохождения электрического тока через газ принято называть электрическим разрядом в газе.

В зависимости от явлений, сопровождающих ток в газах, различают несколько видов электрического разряда. По непосредственному зрительному восприятию различают темный (тихий) разряд, тлеющий, искровой и дуговой разряды. Темный разряд дает очень слабое свечение, свечение тлеющего разряда вполне заметно, а искровой и дуговой разряды излучают очень яркий свет. В названиях разряда часто находит отражение и форма светящейся части: кистевой разряд, коронный разряд.

В любом случае для начала разряда необходима начальная ионизация газа, создаваемая каким-либо внешним ионизатором. Если с прекращением действия внешнего ионизатора ток в газе

прекращается, то разряд называют несамостоятельным. Если электропроводность газа будет поддерживаться приложенной разностью потенциалов и собственным током, то разряд называют самостоятельным.

Несамостоятельный тихий разряд и переход его в самостоятельный

Все виды разрядов от несамостоятельного тихого разряда до дугового и процессы перехода от одного вида разряда к другому можно наблюдать в одной и той же лампе на установке, приведенной на рис. 1,*а*. Электрическая цепь, кроме двухэлектродной газоразрядной лампы и измерительных приборов, содержит внешний резистор R_1. Напряжение питания трубки можно изменять потенциометром R_2 и измерять вольтметром $V_б$. Ток измеряется много-

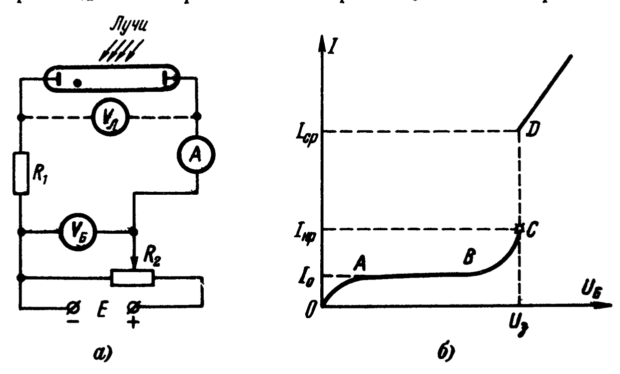


Рис. 1. Основная схема включения для снятия характеристик газоразрядных ламп (*а*) и вольт-амперная характеристика цепи из последовательно включенных лампы и резистора (*б*).

предельным микромиллиамперметром *А*. Пусть электроны и ионы в лампе создаются облучением газа, например, рентгеновскими лучами или облучением катода светом, вызывающим фотоэмиссию электронов. Вследствие рекомбинации в трубке устанавливается равновесное состояние: число вновь образующихся за секунду ионов равняется числу рекомбинируемых за это же время и концентрация ионов и электронов остается постоянной. Если к лампе приложено напряжение, равновесие нарушается, так как часть ионов достигает электродов, не успев рекомбинировать. Когда напряжение увеличивается, все большая и большая часть создаваемых в единицу времени ионов успевает достигнуть электродов и электрический ток I в цепи растет (участок *ОА*, рис. 1,*б*).

При некотором значении тока I_0 дальнейший прирост тока прекращается, ток остается постоянным, хотя и увеличивается напряжение $U_б$. Этот ток называют током насыщения. Появление тока насыщения объясняется тем, что число электронов и ионов, возникающих в газе за счет действия внешних ионизаторов, равно

числу частиц, достигших электрода за тот же интервал времени. На участке AB весь «запас» электронов и ионов в разрядном промежутке уже исчерпан. Величину тока насыщения можно увеличить только за счет увеличения интенсивности ионизаторов. Ток насыщения обычно имеет значения 10^{-18}—10^{-12} *а*.

Если же еще больше увеличивать напряжение, то скорость электронов возрастает настолько, что их кинетическая энергия становится достаточной, чтобы вызвать ионизацию атомов, с которыми они сталкиваются. В результате появляются вторичные электроны, которые также разгоняются полем и могут ионизировать другие атомы. На рис. 2 схематически показано нарастание числа электронов, образующих «электронную лавину», двигающуюся к аноду.

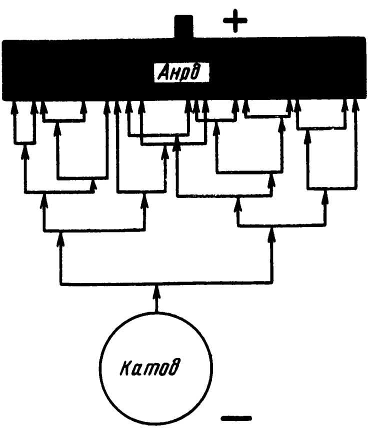


Рис. 2. Схема образования лавины электронов в газе.

Каждая электронная лавина оставляет за собой облако положительных ионов. Эти ионы движутся к катоду с небольшой (по сравнению с электронами) скоростью, и их кинетическая энергия недостаточна для ионизации нейтральных молекул ударом. Однако энергия наиболее быстрых ионов оказывается достаточной для выбивания из катода свободных электронов. Эти электроны образуют новую лавину. Таким образом, концентрация носителей тока в газе резко возрастает, что и приводит к быстрому увеличению тока на участке BC (рис. 1,*б*).

Наконец, при определенном напряжении $U_з$, если сопротивление внешней цепи мало, ток мгновенно возрастает до очень больших значений (участок CD), ограниченных лишь сопротивлением резистора R_1 или мощностью источника напряжения. Газ начинает ярко светиться (а при разряде в свободной атмосфере появляются звуковые эффекты).

Этот переход к качественно новым явлениям носит название зажигания газового разряда или пробоя газового промежутка. Необходимая для зажигания разность потенциалов $U_з$ называется напряжением зажигания (пробоя).

При прекращении действия внешнего ионизатора разряд на участке BC обрывается не сразу. Без внешнего ионизатора число электронов в каждой последующей лавине меньше, чем число электронов в вызвавшей ее предшествующей лавине, поэтому разрядный ток уменьшается. Следовательно, разряд на этом участке еще несамостоятельный.

Отношение числа электронов двух последующих лавин называют ионизационным нарастанием и обозначают буквой μ. На участке BC $\mu<1$. Это неравенство является условием несамостоятельного разряда.

При $\mu>1$ разряд больше не нуждается для своего поддержания в постороннем ионизаторе и переходит в самостоятельный. Это имеет место после зажигания газового разряда.

Граничным условием существования самостоятельного разряда является равенство $\mu=1$.

Теория и опыт показывают, что напряжение зажигания разряда зависит от химической природы и давления газа, геометрической формы и взаимного расположения электродов, от материала катода.

Как уже говорилось, для выбивания электронов из катода положительный ион должен совершить меньшую работу, чем для ударной ионизации молекулы газа. Поэтому вторичные электроны под действием положительных ионов появляются вначале в результате выбивания электронов из катода газоразрядной трубки.

Вторичные электроны, выбитые из катода, так же как и первичные, направляются к аноду и на своем пути лавинообразно ионизируют газ. Ионы, образованные ими, приходят на катод и выбивают новые электроны. Этот процесс размножения неограниченно повторяется и происходит очень быстро. В итоге число заряженных частиц в разрядном промежутке резко возрастает и в цепи наблюдается скачок тока.

Следует заметить, что выбивание вторичных электронов из катода осуществляется и за счет бомбардировки катода метастабильными атомами, а также в результате фотоэлектронной эмиссии катода, вызванной излучением самого разряда, и других процессов.

Теперь, после зажигания, внешний ионизатор уже не играет практически никакой роли в осуществлении газового разряда, так как число создаваемых им первичных электронов и ионов ничтожно по сравнению с числом вторичных электронов и ионов. Поэтому прекращение действия внешнего ионизатора никак не отражается на дальнейшем протекании газового разряда. Таким образом, повышая напряжение между электродами газоразрядной лампы, можно осуществить переход несамостоятельного тихого разряда в самостоятельный.

Самостоятельный тихий разряд

При наличии во внешней цепи газоразрядной трубки большого сопротивления, порядка нескольких миллионов ом, переход от несамостоятельного к самостоятельному разряду совершается постепенно и можно наблюдать переходную форму разряда. Если ток самостоятельного разряда порядка нескольких микроампер, то разряд называют *самостоятельным тихим разрядом*.

Для самостоятельного тихого разряда характерно то, что с увеличением напряжения питания напряжение на электродах трубки остается равным напряжению зажигания или близким к нему.

Свечение газа при самостоятельном тихом разряде слабое, и возникает оно около анода. Это объясняется тем, что в этой области больше всего электронов и здесь имеет место наибольшее число возбуждений частиц газа. При уменьшении сопротивления внешней цепи ток в газе возрастает, в разрядном промежутке начинается перераспределение объемных зарядов, электрическое поле искажается и свечение газа начинает распространяться в направлении катода.

Тлеющий разряд

При низком давлении остаточных газов (от 0,1 до 100 *мм рт. ст.*) и токе самостоятельного разряда 1—100 *ма* свечение газа в длинной цилиндрической трубке будет выглядеть, как показано на рис. 3,*а*. Такой самостоятельный разряд называют нормальным тлеющим разрядом.

Непосредственно к катоду прилегает очень узкое темное пространство — астоново темное пространство, затем следует довольно тонкий слабо светящийся слой — катодное свечение, и после него

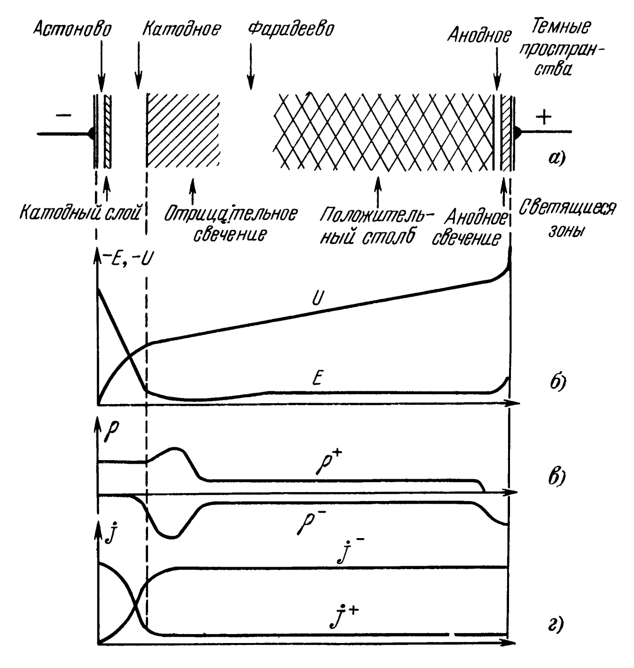


Рис. 3. Вид тлеющего разряда (*а*) и распределение по длине лампы потенциала и напряженности поля (*б*), пространственного заряда (*в*) и плотности тока (*г*).

располагается темное катодное пространство. Это пространство отделяется резкой границей от отрицательного свечения; последнее быстро убывает по своей интенсивности в направлении к фарадееву темному пространству. На положительном конце фарадеева пространства начинается положительный столб. Эта область имеет либо однородную интенсивность свечения, либо разделена на отдельные чередующиеся светлые и темные слои — страты. На положительном конце положительного столба иногда видно темное анодное пространство, за которым следует прилегающее вплотную к аноду анодное свечение.

При понижении давления газа в трубке катодное темное пространство и примыкающая к нему область отрицательного свечения расширяются, а свечение становится более бледным. При давлении 0,01 *мм рт. ст.* и ниже всякое свечение газа внутри трубки прекращается.

При повышении давления газа астоново темное пространство и катодное свечение исчезают, отрицательное свечение смещается к катоду, фарадеево темное пространство сокращается, а положительный столб удлиняется. При соответствующем подборе условий во внешней цепи и при непрерывном охлаждении катода удается получить тлеющий разряд при давлениях, близких к атмосферному, и выше.

По внешнему виду тлеющий разряд различен в зависимости от размеров разрядной трубки, формы, размеров и материала электродов и расстояния между ними.

Особое значение в тлеющем разряде имеют только две его части — катодное темное пространство и отрицательное свечение. В этих зонах и происходят основные процессы, поддерживающие разряд. Если в газоразрядной трубке сделать анод подвижным и постепенно придвигать его к катоду, то все катодные части остаются неизменными, а укорачивается только положительный столб. При дальнейшем уменьшении длины разрядного промежутка начинает укорачиваться фарадеево темное пространство. Когда анод попадает в отрицательное свечение, оно исчезает. Однако при этом разряд продолжает существовать. И только когда анод подходит к границе между катодным темным пространством и отрицательным свечением, разряд гаснет. Чем это вызывается?

Из экспериментального графика (рис. 3,*б*), характеризующего распределение потенциала по длине трубки, мы видим, что значительная часть падения потенциала в разряде приходится на область между катодом и границей отрицательного свечения. Эта разность потенциалов получила название катодного падения потенциала. Соответственно в этой зоне относительно велика и напряженность электрического поля E. Именно благодаря этому сильному полю положительные ионы, проходя через область катодного темного пространства, приобретают необходимую энергию для образования интенсивной вторичной электронной эмиссии с катода, без которой тлеющий разряд не мог бы существовать. В поле этой же области вторичные электроны также ускоряются и при последующих соударениях с атомами газа на пути к аноду создают новые лавины электронов и ионов.

Таким образом, основные процессы, поддерживающие самостоятельный разряд (ионизация электронными ударами в объеме газа и вторичная электронная эмиссия из катода), происходят в катодных частях тлеющего разряда. Поэтому без катодного темного пространства и зоны отрицательного свечения тлеющий разряд невозможен.

А каково значение положительного столба?

В положительном столбе содержится огромное количество как положительных ионов, так и электронов. Однако результирующий пространственный заряд равен нулю, так как концентрация этих разрядов ρ одинакова (рис. 3,*в*). Следовательно, в этой области мы имеем дело с плазмой, электропроводность которой велика[1]. По-

---

[1] Плазма имеется и в области отрицательного свечения.

этому положительный столб выполняет лишь функции проводника, соединяющего отрицательные зоны с анодом.

Так как скорость положительных ионов мала, то ток в положительном столбе переносится главным образом электронами (рис. 3,*г*). Может показаться, что вследствие различия скоростей свободных зарядов в положительном столбе может нарушиться равенство концентрации положительных и отрицательных зарядов. Однако это не так. При рассмотрении переноса заряда в столбе необходимо принять во внимание и процессы, происходящие на его концах. Из фарадеева темного пространства непрерывно поступает столько электронов, сколько их уходит за это же время на анод. А в фарадеево темное пространство уходит столько положительных ионов, сколько их поступает в столб из анодной области, где они образуются в результате ионизации.

Итак, положительный столб не является необходимым для существования разряда, хотя он и может составлять самую протяженную часть разряда. Положительный столб может быть и прямым, и изогнутым, и иметь любую длину, как в газосветных неоновых трубках, если приложено достаточно высокое напряжение. В миниатюрных лампах положительный столб обычно отсутствует.

Свечение газа при тлеющем разряде

Электрон начинает свой путь с катода с очень малой начальной скоростью и энергией (порядка 1 *эв*). Он не может вызвать возбуждения атомов, а следовательно, и свечения, пока его энергия не достигнет, по крайней мере, наинизшего (первого) потенциала возбуждения. Поэтому в области астонова темного пространства электрон набирает энергию, соответствующую энергии возбуждения. В светящемся катодном слое такие возбуждения уже начинаются. На более далеких расстояниях от катода большинство электронов (но не все) имеет большую скорость и возбуждения мало вероятны. Такие электроны способны ионизировать атом. Вследствие этого интенсивность излучения катодного темного пространства невелика.

Электроны, поступившие в зону отрицательного свечения, можно разделить по меньшей мере на две группы. Первую группу составляют быстрые электроны, образовавшиеся на катоде или вблизи него и не успевшие потерять энергию при столкновениях в темном пространстве. Вторая, бо́льшая группа, состоит из медленных электронов, образовавшихся в темном пространстве. Энергия этих электронов меньше, чем энергия ионизации, но достаточна для возбуждения. При столкновениях с атомами эти медленные электроны возбуждают их и вызывают отрицательное свечение. Так как в этой области концентрация электронов и ионов велика, а электрическое поле мало, то очень медленные электроны могут рекомбинировать с положительными ионами и вызвать рекомбинационное свечение. Однако рекомбинационное излучение в отрицательном свечении имеет в общем малую интенсивность.

Последующее медленное увеличение поля приводит к тому, что скорость медленных электронов возрастает и они пролетают мимо ионов, не успев рекомбинировать. Это приводит к уменьшению рекомбинационного излучения и появлению фарадеева темного пространства.

По мере дальнейшего увеличения поля в направлении к положительному столбу медленные электроны разгоняются настолько, что в положительном столбе начинается возбуждение электронным ударом и атомы испускают кванты света, соответствующие спектральным линиям, лежащим в области малых энергий. В положительном столбе имеет место и рекомбинационное излучение, кванты которого обладают большей энергией и частотой, лежащей в ультрафиолетовой части спектра.

Электрон, вышедший из положительного столба, вступает в область анодного свечения с малой начальной скоростью. Здесь он ускоряется в направлении анода и после прохождения темного анодного пространства приобретает скорость, достаточную для возбуждения и ионизации газа перед анодом. Поэтому анод покрывается светящимся слоем (анодное свечение).

Нормальное и аномальное катодное падение потенциала. Аномальный тлеющий разряд

Как уже говорилось, катодным падением потенциала условились считать разность потенциалов между катодом и началом отрицательного свечения (рис. 3,*б*). Катодное падение потенциала является одним из наиболее характерных признаков тлеющего разряда, отличающим эту форму газового разряда от всех других форм. Мы видели, что именно благодаря ему поддерживается тлеющий разряд.

Опыт показывает, что если вследствие большого сопротивления внешней цепи ток в тлеющем разряде невелик, то отрицательным свечением покрыт не весь катод. Поверхность катода, покрытая свечением, пропорциональна току в трубке. Длина катодного темного пространства и плотность тока при увеличении или уменьшении тока остаются неизменными. Вместе с тем остается постоянным и катодное падение потенциала. Такой режим называют режимом нормального катодного падения. Для давления порядка нескольких десятков *мм рт. ст.* нормальное катодное падение не зависит от давления и определяется лишь материалом катода и родом газа. Например, для никелевого катода в водороде нормальное катодное падение равно 211 *в*, а сложных цезиевых катодов в неоне 30—40 *в*. Нормальное катодное падение всегда меньше напряжения зажигания самостоятельного разряда.

Когда же ток достигнет такой величины, что отрицательное свечение покрывает весь катод, катодное падение начинает возрастать. Возрастает и плотность тока, а ширина катодного темного пространства уменьшается. В этом случае катодное падение называют аномальным катодным падением, а самый разряд — аномальным тлеющим разрядом.

Дуговой разряд

Вернемся к установке на рис. 1,*а*. После зажигания аномального тлеющего разряда будем продолжать увеличивать ток в цепи, постепенно уменьшая внешнее сопротивление. При токе порядка 1 *а* форма разряда скачкообразно изменяется, аномальный тлеющий разряд превращается в дуговой с током в несколько десятков

или даже сотен ампер, а напряжение на зажимах трубки уменьшается до десятка вольт. Вместо тлеющего света мы увидим ослепительно яркий свет [1].

По внешнему виду дуговой разряд в трубках с холодными электродами отличается от тлеющего тем, что на катоде появляется ярко светящееся пятнышко — катодное пятно. Непосредственно к катодному пятну прилегает часть разряда, соответствующая отрицательному свечению тлеющего разряда. Эту часть называют отрицательной или катодной кистью или отрицательным пламенем. Затем расположены темное пространство (аналогично фарадееву темному пространству тлеющего разряда), положительный столб, имеющий сужение у анода, и анодное темное пространство. Яркость положительного столба значительно больше, чем в случае тлеющего разряда, и увеличивается с увеличением тока.

Плазма в пространстве между электродами может развиваться как при пониженном и атмосферном давлении, так и при давлении в несколько атмосфер.

Основные электрические свойства дуги таковы: огромная электропроводность разрядного промежутка; с увеличением тока катодное падение потенциала быстро уменьшается. Если при аномальном тлеющем разряде катодное падение потенциала измеряется сотнями вольт, то в дуге оно порядка 10 *в*.

Однако в дуге толщина слоя катодного падения составляет всего лишь 10^{-4} *см*, поэтому в области катодного пятна и при таком малом катодном падении потенциала возникает электрическое поле с напряженностью порядка 10^5 *в/см*

Был предложен ряд гипотез для объяснения работы катода холодной дуги. Наиболее распространенной точкой зрения является электронная эмиссия под действием сильного электрического поля (автоэлектронная эмиссия).

Искровой разряд

Искровой разряд можно наблюдать между двумя электродами при кратковременном разряде конденсатора через лампу. Искра имеет вид ярко светящегося тонкого разветвленного канала, соединяющего оба электрода. Электрическая искра возникает в том случае, если электрическое поле в газе достигает напряженности пробоя на всем протяжении между электродами.

Так называемая стримерная теория, обоснованная экспериментальными данными, объясняет возникновение искрового разряда следующим образом. Возникновению ярко светящегося канала предшествует появление слабо светящихся скоплений ионизированных частиц — стримеров (рис. 4,*а*). В виде конусов на этом рисунке показаны электронные лавины. Причиной возникновения стримеров является не только образование электронных лавин посредством ударной ионизации, но еще и ионизация газа излучением, возникающим в самом разряде.

Пронизывая газоразрядный промежуток, стримеры образуют проводящие мостки, по которым в последующие стадии разряда и

---

[1] При подборе сопротивления внешней цепи удается стабилизировать переходную форму разряда и наблюдать при определенных давлениях непрерывный переход тлеющего разряда в дуговой.

устремляются мощные потоки электронов (рис. 4,*б*). Температура в искре может достигать 100 000 °С и выше, что является, по-видимому, основной причиной ионизации газа в искре на ее последую-

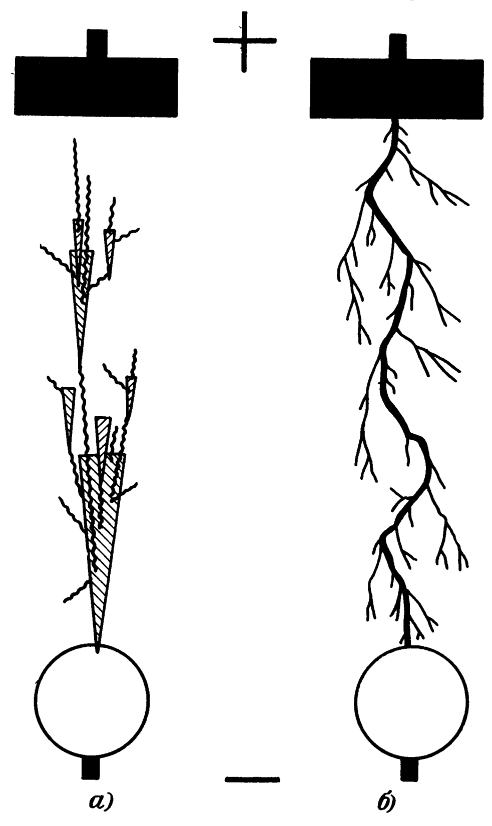


Рис. 4. Схема зарождения (*а*) и прохождения (*б*) искрового разряда.

щих стадиях. Степень ионизации газа в канале искры может приближаться к 100%. Молния представляет собой гигантскую электрическую искру с током от 10 000 до 500 000 *а*.

Коронный и кистевой разряды

Эти виды разрядов относятся к типу самостоятельных разрядов и наблюдаются при острых тонких электродах, около которых возникает значительное, но не равномерное электрическое поле.

Процессы внутри короны, например покрывающей острие, сводятся к следующему. Если острие заряжено отрицательно, то по достижении напряженности 30 000 *в/см* у поверхности острия зарождаются электронные лавины (рис. 2), которые распространяются

в направлении от острия. Так как по мере удаления от острия электронные лавины обрываются, расстояние, на которое распространяются электронные лавины, и есть толщина светящейся короны. В случае положительной короны электронные лавины зарождаются на внешней поверхности короны и движутся по направлению к острию.

Кистевой разряд можно наблюдать вблизи острия в виде светящейся синевато-красным светом кисточки. При наблюдении в микроскоп у острого катода можно различать все детали типичного тлеющего разряда (рис. 3,*а*), поэтому кистевой разряд можно считать разновидностью тлеющего разряда.

Как в коронном разряде, так и в кистевом имеет место неполный пробой газового промежутка, потому что сильное поле сосредоточено в небольшой части разрядного промежутка.

Характеристики газового разряда

Полная вольт-амперная характеристика газового разряда. Вольт-амперной характеристикой разряда называют график, представляющий зависимость между током в разрядном промежутке и напряжением на этом промежутке. Практически эту характеристику можно получить на установке, показанной на рис. 1,*а*. Необходимо лишь параллельно электродам лампы дополнительно включить статический вольтметр и в широких пределах менять ток с помощью резисто-

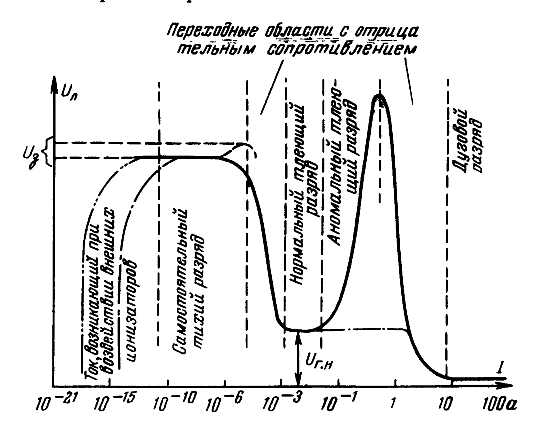


Рис. 5. Полная вольт-амперная характеристика газового разряда.

ра R_1. Полная вольт-амперная характеристика, охватывающая все виды разряда в диапазоне токов от 10^{-21} *а* до 100 *а*, приведена на рис. 5. Эта характеристика содержит в себе вольт-амперные характеристики разрядов, возможных в лампах с холодным катодом.

В отличие от характеристики, приведенной на рис. 1,*б*, характеристика на рис. 5 показывает изменение напряжения непосредственно на электродах лампы в зависимости от величины разрядного тока.

Максимальное напряжение характеристики самостоятельного тихого разряда соответствует напряжению зажигания $U_з$. При тлеющем разряде минимальное напряжение на лампе определяет нормальное напряжение горения $U_{г\ н}$.

При различных режимах включения газоразрядных ламп используются различные участки полной характеристики, показанной на рис. 5.

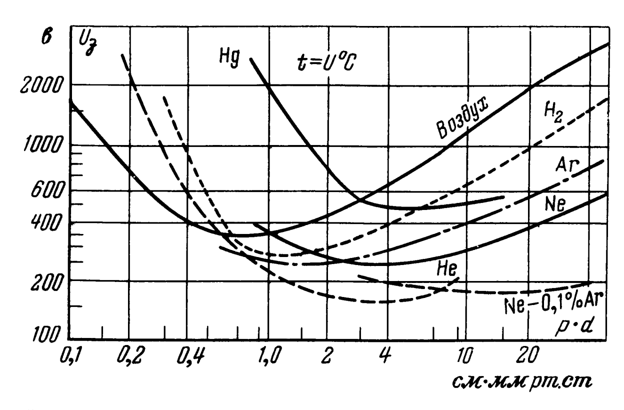


Рис. 6. Характеристика зажигания разряда в зависимости от расстояния между электродами d и давления газа p.

Характеристика возникновения разряда. Напряжение зажигания зависит от расстояния между электродами, их формы, материала, катода, от давления газа, его состава и степени чистоты.

На рис. 6 приведены соответствующие характеристики возникновения разряда. Они дают возможность определить напряжение зажигания в зависимости от величины произведения расстояния между электродами d на давление газа p.

На основе серии таких кривых в зависимости от необходимого напряжения зажигания выбираются оптимальная конструкция ламп с холодным катодом, взаимное расположение электродов, расстояние между разными парами электродов, давление наполняющего газа и другие величины.

Запаздывание зажигания разряда

Предположим, что в момент времени $t=0$ на разрядную трубку внезапно подано напряжение $U_а > U_з$. С момента наложения напряжения до зажигания самостоятельного разряда проходит некоторое конечное время. Это время запаздывания можно разбить на две части: статическое время зажигания — время между моментом наложения напряжения на электроды и моментом появления в промежутке заряженной частицы, которая, ионизируя газ, способна вызвать начало возникновения разряда, и время

формирования разряда — время между появлением в разрядном промежутке заряженной частицы и тем моментом, когда в результате различных процессов ионизации возникает самостоятельный разряд.

При действии внешнего ионизатора статическое время зажигания разряда уменьшается, при этом чем сильнее действие ионизатора, тем меньше время запаздывания. Без внешнего ионизатора появление заряженной частицы, выполняющей роль запала разряда, носит случайный характер, и время запаздывания зажигания может изменяться в очень широких пределах и при напряжениях, немного превышающих $U_з$, может доходить до нескольких минут.

В газоразрядных приборах снижение (до единиц микросекунд) запаздывания зажигания разряда достигается различными способами: облучением активированного катода светом, введением в газоразрядные промежутки радиоактивных веществ, диффузией электронов из вблизи расположенного вспомогательного разрядного промежутка с током самостоятельного разряда и др.

Катодное распыление и поглощение газа

Кроме электронных явлений, на катоде тлеющего разряда происходит еще характерный процесс — катодное распыление.

Атомы и молекулы катода летят во все стороны по прямым линиям и покрывают другие электроды и стенки колбы металлическим налетом. Основная доля распыляющихся частиц нейтральна.

Катодное распыление тем больше, чем больше масса положительных ионов газа, бомбардирующих катод. Распыление также увеличивается и с уменьшением газа до 0,1—0,01 *мм рт. ст.* Дальнейшее снижение давления не оказывает влияния на распыление.

При катодном падении напряжения, равном или близком по своей величине к нормальному, распыление столь незначительно, что обнаруживается лишь после продолжительного (сотни часов) непрерывного действия разряда. Однако с увеличением катодного падения потенциала распыление растет и при аномальном тлеющем разряде становится существенным. В этом случае распыление катода растет примерно пропорционально квадрату плотности тока.

К настоящему времени единой теории катодного распыления нет.

При распылении катода увеличивается проводимость (утечка) изолирующих деталей, появляется возможность зажигания разряда между выводами электродов, изменяется состояние поверхности катода и т. д. Поэтому катодное распыление является одним из факторов, определяющих нестабильность работы газоразрядных приборов и их срок службы.

Катодное распыление всегда сопровождается поглощением газа распыленными частицами. Это поглощение является одним из процессов понижения давления (жесточения) газа. При катодном распылении инертные газы поглощаются в гораздо меньшей степени, причем аргон поглощается много сильнее неона.

Поглощение газа зависит от давления и разрядного тока: чем больше давление и меньше ток, тем поглощение меньше.

Изменение давления наполняющего газа при его поглощении влияет на электрические характеристики и многие параметры приборов тлеющего разряда, их стабильность во времени. Для умень-

шения этого влияния в ионных приборах несколько завышают давление, правильно выбирают материал катода и состав газового наполнения.

Процессы поглощения газа и распыления катода ограничивают срок службы ионных приборов.

Глава вторая

РАЗНОВИДНОСТИ ЛАМП С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Неоновые лампы

Наиболее простые газоразрядные лампы с двумя электродами (диоды), первоначально разработанные специально для сигнальных целей, получили название неоновых ламп.

Неоновые лампы обычно работают в режиме тлеющего разряда. Цвет свечения лампы зависит от состава газа, наполняющего баллон. Так, лампа, наполненная неоном, имеет характерное красное свечение, наполненная гелием — желтовато-белое. Большинство неоновых ламп наполняется неоново-гелиевой смесью с небольшой примесью аргона (для понижения напряжения зажигания) и имеет оранжево-красное свечение.

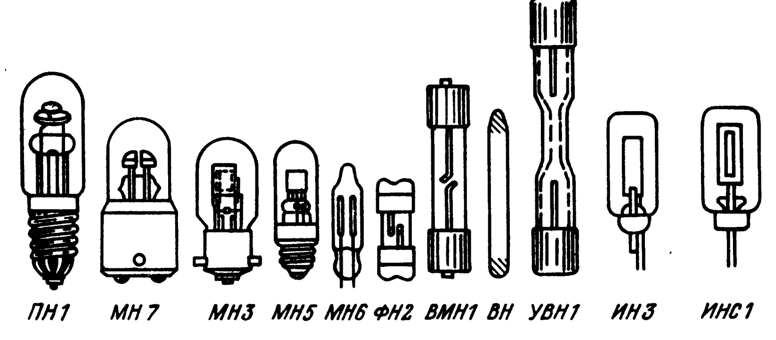


Рис. 7. Внешний вид некоторых типов неоновых ламп.

В зависимости от конструктивных особенностей, а следовательно, и назначения неоновые лампы иногда разделяются на следующие группы: индикаторные и сигнальные неоновые — ИН3, ИНС1; миниатюрные неоновые МН3—МН15; лампы специального назначения, в которые входят панельные ПН1—ПН3, фазовые — ФН2 и волномерные — ВМН1; неоновые лампы для вольтоскопов — ВН1 и ВН2 и для указателей высокого напряжения — УВН1.

Внешний вид этих ламп показан на рис. 7. Кроме того, особую конструкцию имеет модуляторная лампа ТМН2, свечение у которой сосредоточено в одной точке, причем яркость свечения можно модулировать путем изменения тока. Основные параметры неоновых ламп приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип лампы	Род тока	Напряжение сети, *в*	Напряжение зажигания, *в*	Ток, *ма*	Срок службы, *ч*	Диаметр баллона, *мм*	Длина, *мм*	Тип цоколя
МН3	Постоянный	—	48—65	1	300	15	35	1Ш-1
МН4	„	—	80	2	500	15	35	1Ш-122
МН5	Переменный	180	50—150	0,2	200	9	33	Р-10
МН6	Постоянный	—	60—90	0,8	100	6,8	28	—
МН7	„	—	87	2	200	15	40	2Ш-15
МН8	„	—	85	1	200	9	38	Р-10
МН11	„	—	85	4	100	14,5	42	1Ш-9
МН12	„	—	95	0,2	—	9,5	34	1Ш-15
МН15	„	—	220	0,45	—	9,5	38	Р-10
95СГ9	—	—	65—95	3	—	11	36	1Ш-12
ПН1	Постоянный	220	200	1	300	16	45	1Ш-15
ПН2	„	115	115	—	—	16	52	Р-14
ПН3	„	—	65—90	1	300	15	45	2Ш-15
ФН2	Переменный	—	140	1	—	9,2	24	СФШ-9
ВМН1	„	—	160	2	—	10	49	СФ-10
ВМН2	„	—	126	—	—	7	37	СФ-10
УВН1	„	—	550	—	—	9	70	СФ-10
ВН1	„	—	—	—	—	4,25	40	—
ВН2	—	—	—	—	—	4,25	40	—
ТМН2	—	—	200	50	—	30	77	Ц-8
ИН3	—	—	65—85	0,2	500	7,3	27	—
НД2	—	—	220	485	—	38	—	2ШК
МН6а	—	—	55	0,8	—	6,8	28	—

Неоновые лампы не имеют балластных резисторов, поэтому при включении в какую-либо цепь во избежание порчи требуется последовательно с лампой включить резистор, ограничивающий ток до допустимого предела.

Неоновые лампы переменного тока могут работать и на постоянном токе, но при этом напряжение зажигания увеличивается примерно в 1,4 раза. Лампы постояного тока (МН3, МН6 и др.) имеют активированный катод (цезиевый или бариевый).

Следует отметить, что неоновые лампы сейчас используются не только как сигнальные. Их с успехом применяют в качестве активных элементов во многих устройствах: реле времени, усилителях импульсных сигналов, генераторах электрических колебаний,

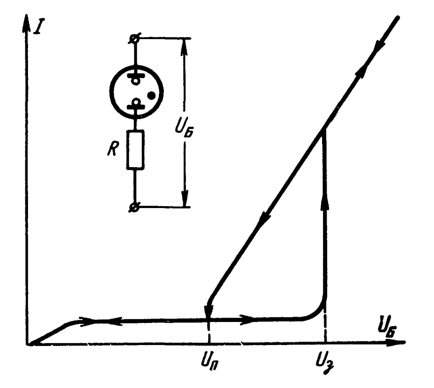


Рис. 8. Релейная характеристика диодного промежутка с последовательно включенным резистором.

триггерах и т. д. В этих случаях используется так называемый релейный эффект, т. е. скачкообразное изменение выходной величины при плавном изменении входной.

Если изменять напряжение на лампе с включенным последовательно резистором R (рис. 8), то, когда $U_б$ достигает напряжения зажигания $U_з$, ток в цепи скачком возрастает. При уменьшении $U_б$ ток плавно уменьшается. Лампа гаснет, когда питающее напряжение достигнет величины $U_п$, при которой ток в лампе становится меньше критической величины, необходимой для поддержания разряда. Приведенная характеристика зависимости тока от напряжения подобна характеристикам реле и поэтому называется релейной характеристикой.

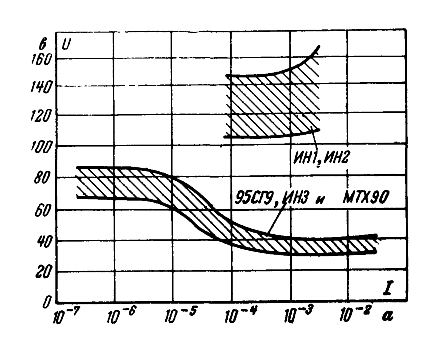


Рис. 9. Разброс вольт-амперных характеристик некоторых ламп с холодным катодом (для МТХ90 — между катодом и сеткой).

Для того чтобы неоновую лампу использовать как импульсный усилитель, ее обычно включают под напряжение, меньшее чем $U_з$, но большее чем напряжение $U_п$. На вход подают пусковой импульс напряжения, который, складываясь с напряжением батареи, увеличивает напряжение на лампе до напряжения зажигания. Происходит разряд, и в цепи возникает импульс тока. Такое газоразрядное реле устроено просто и может коммутировать большие мощности.

Как все радиодетали, лампы с холодным катодом имеют определенный разброс параметров, величина которого может достигать 10—50%. Этот разброс в основном зависит от аккуратности изготовления ламп и степени чистоты исходных материалов (рис. 9).

В последние годы часть неоновых ламп получила новые названия ТН0,2—ТН30. В этих названиях цифры обозначают не порядковый номер разработки, а номинальный рабочий ток в миллиамперах.

Особую группу неоновых ламп составляют многоэлектродные цифровые индикаторные неоновые лампы типов ИН1, ИН2, ИН4 и др. Такие лампы содержат один или два анода и много катодов, выполненных в виде цифр от 0 до 9 (рис. 10). Некоторые лампы имеют катоды в виде букв и других знаков «+», «—», «×», «:» и др.). В зависимости от того, на какой катод подано напряжение, будет гореть та или иная цифра или знак. Рабочий ток цифровых ламп 1,5—2,5 *ма*.

Для управления цифровой лампой на ее катод, соответствующий нужной цифре, необходимо подать отрицательное напряжение 50—100 *в* и более. Схема управления может быть выполнена на реле, электронных лампах, транзисторах. Наиболее экономичные схемы управления цифровыми лампами строятся на лампах с холодным катодом.

В последнее время разработаны новые миниатюрные и сверхминиатюрные неоновые лампы типов ИН3, ИНС1.

Лампа ИН3 имеет катод в виде пластинки и рамочный анод, расположенный в вертикальной плоскости по оси баллона. Благодаря такой конструкции получается яркое боковое свечение тлеющего разряда (оранжевого цвета). Эта лампа предназначена для визуальной индикации в цифровых измерительных приборах, блоках вычислительных машин и других радиоэлектронных устройствах.

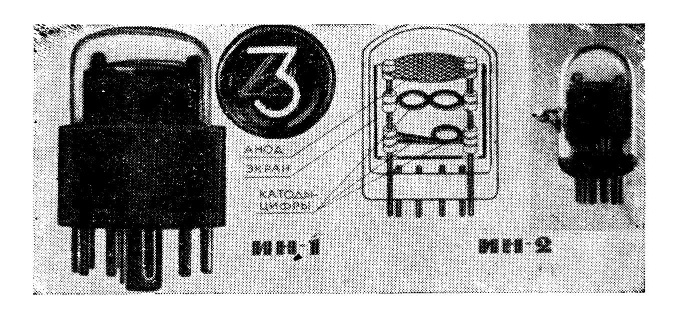


Рис. 10. Внешний вид индикаторных неоновых ламп.

В лампе ИНС1 катод и анод выполнены в форме соосных цилиндров, а в верхней (торцевой) части баллона сделан линзовый купол, сквозь который хорошо видно яркое свечение тлеющего разряда. Эти индикаторные лампочки могут работать в цепях постоянного и переменного тока промышленной и повышенной частот.

Из группы индикаторных ламп назовем еще индикатор ИН6, предназначенный для индикации малых уровней напряжения функциональных узлов транзисторных схем. Лампа ИН6 представляет собой стеклянную колбу диаметром не более 10 *мм* и высотой (без выводов) не более 37 *мм* с торцевым свечением. Лампа содержит три электрода: анод, индикаторный катод и вспомогательный катод.

Таблица 2

Дуговые неоновые лампы

Тип лампы	Катод	Наполнение, газ	Давление, *мм рт. ст.*	Напряжение питания, *в*	Напряжение горения, *в*	Средний ток, *ма*	Мощность, *вт*
ДНК281	Оксидный	Неон	7	28	15	180	2,5
ДНК282	»	»	5	28	17	500	8
ДНК1151	»	»	7	115	30	160	4,5
ДНК1152	»	»	5	115	25	500	12
НД2	»	Неон+0,15% аргона	—	220	—	—	500

Основные электрические данные лампы ИН6 следующие: напряжение питания не менее 180 *в*, напряжение зажигания не более 140 *в*, напряжение горения 83—85 *в*, максимальный анодный ток 1 *ма*, минимальный анодный ток 0,45 *ма*. Нижний уровень управляющего сигнала, подаваемого на индикаторный катод, — не менее 6 *в* и верхний уровень — не более 2 *в*. Схема включения лампы ИН6 приведена на рис. 28,*в*. В случае необходимости индикации положительных уровней или импульсов последние подаются на вспомогательный катод. Амплитуда импульсов, подаваемых на вспомогательный катод, 1,5—2,5 *в*.

Существуют неоновые лампы, работающие в режиме дугового разряда. Такие лампы называются дуговыми неоновыми лампами. Параметры некоторых типов дуговых неоновых ламп приведены в табл. 2.

Аналоговые индикаторы

Аналоговый индикатор (рис. 11,*а*) является газоразрядным диодом, предназначенным для измерения тока. Он представляет собой стеклянную трубку диаметром 10—12 *мм* с катодом *1* в виде стержня и цилиндрическим анодом *2*. Анод имеет окно *3*, затянутое молибденовой сеткой, через которое наблюдается свечение нормального тлеющего разряда. Известно, что при таком разряде площадь катода, покрытая свечением, линейно зависит от величины тока, протекающего через прибор. Поэтому в данной лампе длина светящегося столба прямо пропорциональна току в разрядном промежутке. Названное свойство позволяет применять эту лампу в качестве прибора, измеряющего ток. В простейшей схеме включения (рис. 11,*б*) изменение тока может быть достигнуто прямым изменением сопротивления или напряжения источника питания.

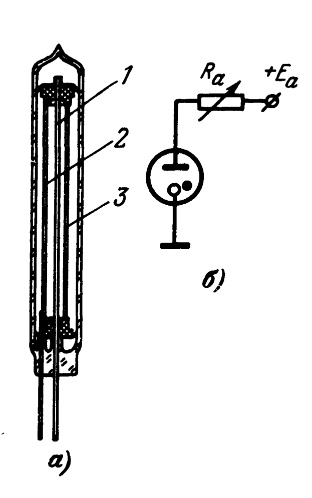


Рис. 11. Устройство аналогового индикатора (*а*) и простейшая схема его включения (*б*).

Созданы аналоговые индикаторы, у которых длина рабочей шкалы, покрытая свечением, составляет 100 *мм* при максимальном токе через прибор 10 *ма*. Напряжение зажигания и горения у этих ламп не более 106—120 *в*. Принципиально возможно создание индикаторов с длиной катода 200—250 *мм* и широким диапазоном рабочих токов.

В диапазоне температур от +5 до +50 °С температурная погрешность прибора практически отсутствует. В этом диапазоне погрешность прибора в основном определяется как сумма временно́й погрешности и погрешности за счет некоторой нелинейности рабочей характеристики и составляет ±4 *мм*. Относительная погрешность при измерениях аналоговым индикатором зависит от длины шкалы прибора. Чем последняя больше, тем меньше относительная погрешность. При длине шкалы 100 *мм* и более класс точности не хуже 5,0.

За счет изменения газового наполнения индикатор позволяет получить оранжево-красное, красно-розовое и фиолетовое свечения; использование фильтров обеспечивает получение зеленого, желтого и беловато-розового цветов.

Стабилитроны

Газоразрядные стабилизаторы напряжения, или стабилитроны, по своей конструкции и технологии изготовления подобны неоновым лампам. Они имеют увеличенные размеры катода с целью увеличения рабочего тока. Для обеспечения большей стабильности при изготовлении стабилитронов проводятся лучшая очистка исходных материалов и удлиненная до нескольких суток тренировка.

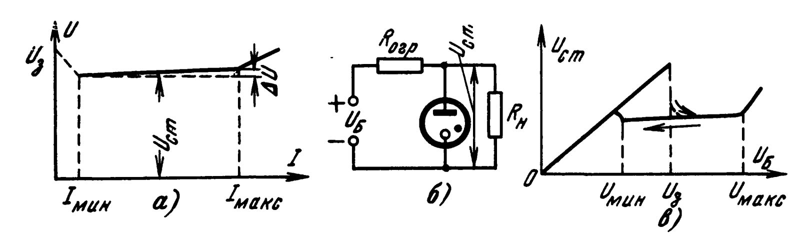


Рис. 12. Рабочий участок вольт-амперной характеристики стабилитрона (*а*), схема его включения (*б*) и характеристика стабилизации (*в*).

Стабилитроны работают в режиме нормального тлеющего разряда, при котором напряжение на электродах остается почти постоянным. Схема включения стабилитрона и его типовая характеристика показаны на рис. 12.

При достижении напряжения зажигания между электродами возникает тлеющий разряд и в цепи устанавливается ток, величина которого определяется сопротивлением ограничительного резистора $R_{огр}$. Для некоторой области токов от $I_{мин}$ до $I_{макс}$ напряжение на стабилитроне остается практически постоянным. Такое же напряжение устанавливается и на нагрузке $R_н$. При токе $I_{мин}$ отрицательное свечение покрывает только небольшую часть катода и при последующем уменьшении тока разряд гаснет. При увеличении напряжения питания светящаяся (активная) часть катода растет и при токе $I_{макс}$ светится весь катод. При дальнейшем увеличении напряжения источника питания нормальный тлеющий разряд переходит в аномальный и напряжение на лампе и нагрузке увеличивается. График зависимости напряжения на стабилитроне от напряжения источника питания приведен на рис. 12,*в*.

Токи $I_{мин}$ и $I_{макс}$, гарантируемая стабильность напряжения $U_{ст}$ являются параметрами, определяющими область стабилизации, и указываются в паспорте прибора. Основные параметры отечественных стабилитронов в порядке возрастания рабочего напряжения горения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Стабилитроны

Тип лампы	Материалы катода	Наполнение и давление, *мм рт. ст.*	Наибольшее напряжение зажигания в течение срока службы, *в*	Запаздывание зажигания, *сек*	Рабочий ток, *ма*	Разброс напряжения горения вначале, *в*	Гарантируемая стабильность напряжения горения, *в*			Внутреннее сопротивл., *ом*	Допустимая емкость, *мкф*	Ток утечки между катодом и анодом, *мка*	Рабочий диапазон температур, °С
							при изменении рабочего тока, *ма*	во времени	при изменении тем-ры на 1 °К				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
СГ2С	Никель, активированный мишметаллом	Неон 99%, аргон 1 %, 30	110	—	5—40	7—80	6,0	68—83 за 500 *ч*	—0,006%	180—260	—	10	От —60 до + 70
СГ16П	Молибден	Аргон, гелий	130	—	5—30	80—86	3	±1,5 за 500 *ч* ±0,2 за 20 *ч*	±10 *мв*	—	—	—	От —60 до +90
СГ202Б	„	Неон 99%, аргон 1%, 35	140	5	1,5—5	81—87	4,5	±1,5 за 500 *ч* ±0,1 за 20 *ч*	—6—10 *мв*	—	—	—	От —60 до +150
СГ201С	„	Неон 99%, криптон 1%, 50	150	—	4—15	86—92	2,5	±1 за 500 *ч* ±0,2 за 50 *ч*	6 *мв*	220	—	—	От —60 до +100
СГ15П	„	Аргон, гелий	150	—	5—30	104—112	2,0	±2,5 за 500 *ч* ±0,4 за 20 *ч*	—	—	—	—	От —60 до +90
СГ2П	„	Неон, аргон, криптон	150	—	5—30	104—112	3	±2,5 за 1 000 *ч*	—	100	0,1	—	От —60 до +90
СГ3С	Никель, активированный мишметаллом	Гелий 80%, неон 10%, аргон 1%, 30	130	—	5—40	105—112	4	103—115 за 1 000 *ч*	±0,003%	80—120	—	10	От —60 до +70

Продолжение табл. 3

Тип лампы	Материалы катода	Наполнение и давление, *мм рт. ст.*	Наибольшее напряжение зажигания в течение срока службы, *в*	Запаздывание зажигания, *сек*	Рабочий ток, *ма*	Разброс напряжения горения вначале, *в*	Гарантируемая стабильность напряжения горения, *в*			Внутреннее сопротивл., *ом*	Допустимая емкость, *мкф*	Ток утечки между катодом и анодом, *мка*	Рабочий диапазон температур, °C
							при изменении рабочего тока, *ма*	во времени	при изменении тем-ры на 1 °K				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
СГ5Б	Никель	Гелий, аргон	190	—	5—10	142—157	4,5	±7% за 500 *ч*	75 *мв*	800	—	10	От —70 до +90
СГ13П	»	Гелий, аргон	175	—	5—30	143—155	3,5	±3 за 1 000 *ч*	—	—	—	—	От —60 до +90
СГ3П	»	Гелий, аргон	170	—	5—40	144—149	2						От —60 до +90
СГ1П	»	Гелий, аргон	175	—	5—30	143—155	3,5	±5 за 2 000 *ч*	±0,004%	160	—	—	+150 наибольший
СГ4С	3	Гелий 99%, аргон 1 % 30	185	—	5—30	145—160	4	142—160 за 500 *ч*	±0,018%	160—220	—	10	От —60 до +70
СГ301С	»	Водород 16—16,5	439	30	0,003—0,1	380—400	16	372—408 за 1 000 *ч*	+0,043%	20 *ком*	—	0,5	От —40 до +50
СГ302С	»	Водород 80—82	990	15	0,003—0,1	880—920	32	862—938 за 1 000 *ч*	+0,043%	40 *ком*	—	0,5	От —40 до +50
СГ303С	»	Водород 140—143	1 350	15	0,01—0,1	1 220—1 280	32	1 195—1 305 за 1 000 *ч*	+0,043%	75 *ком*	—	2	От —40 до +50

В последнее десятилетие появились водородные стабилитроны СГ301С (СГ7С), СГ303С (СГ9С) и др., в которых используется коронный разряд, позволяющий стабилизировать во много раз большее напряжение (380—1 200 *в*). Выпускаются также высоковольтные (1 *кв*) водородные стабилитроны тлеющего разряда СГ17С, СГ18С, СГ19С, в которых с целью снижения напряжения зажигания имеется третий электрод (пусковой анод). Опубликована литература о создании микроминиатюрных стабилитронов, имеющих керамический корпус. Такой корпус выдерживает повышенную температуру и поэтому позволяет во много раз уменьшить габариты при той же рассеиваемой мощности.

Разрядники, тригатроны, импульсные лампы, строботроны

Под этими разными названиями объединены конструктивно сходные лампы, при использовании которых реализуется резкое, но кратковременное увеличение проводимости газа при возникновении самостоятельного тлеющего, дугового, импульсного, искрового или высокочастотного разряда.

Большая часть импульсных и дуговых разрядников выполняется двухэлектродными. Тригатронами называются разрядники с управляющим электродом. Их применяют в модуляторах импульсных передатчиков. В трехэлектродном исполнении изготовляются сверхвысокочастотные разрядники, некоторые из которых объединены с собственным резонатором. Такие разрядники используются в качестве антенных переключателей. В зависимости от рабочего напряжения указанные лампы наполняются газом при давлении от 30—50 *мм рт. ст.* до нескольких атмосфер.

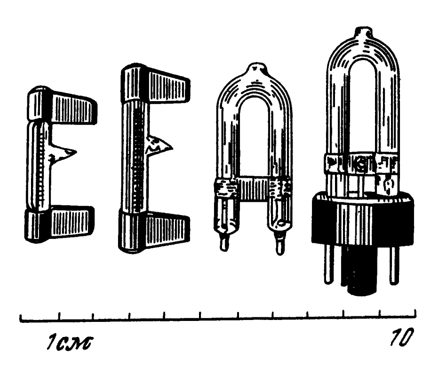


Рис. 13. Некоторые типы импульсных ламп.

Импульсные лампы и строботроны обычно применяют как источники света, обладающие большой яркостью и действующие в течение весьма короткого промежутка времени. Эти лампы представляют собой стеклянную или кварцевую трубку или шаровую колбу, наполненную чаще всего наиболее тяжелым инертным газом ксеноном. Некоторые низковольтные отечественные импульсные лампы показаны на рис. 13. Импульсная лампа имеет анод, активированный или неактивированный катод и поджигающий электрод, обычно расположенный на внешней поверхности разрядной трубки и выполненный в виде полоски, обоймы или нескольких витков проволоки.

Простейшая принципиальная схема включения импульсной лампы приведена на рис. 14. Батарея *Б* через резистор R_1 заряжает конденсатор C_1, питающий лампу. При сравнительно невысоком напряжении (несколько сотен вольт) между анодом и катодом зажи-

Таблица 4

Импульсные лампы

Тип лампы	Энергия вспышки, *дж*	Рабочее напряжение, *в*	Емкость питающего конденсатора, *мкф*	Средняя потребляемая мощность, *вт*	Минимальный интервал между вспышками, *сек*	Размеры светящейся части, *мм*	Внутреннее сопротивление лампы, *ом*	Напряжение зажигания, *в*	Напряжение самопроизвольного зажигания, *в*	Световая энергия, *лм·сек*	Длительность вспышки (по уровню 0,35 максимальной силы света), *мксек*	Фактор нагрузки, *мкф/кв*	Срок службы (тыс. вспышек)
ИФК20	20	130	2 500	2	10	∅ 7×10	0,16	100	700	200	0,2	1	30
ИФК50	50	200	2 500	5	10	∅ 7×20	0,32	140	1 000	700	0,4	6	30
ИФК120	120	300	2 500	12	10	7×23×30	1	180	1 000	2 500	1,2	25	10
ИФК500	500	500	4 000	30	15	∅ 30×45	4	400	3 500	10 000	8	250	10
ИФК2000	2 000	500	16 000	130	15	12×70×40	0,45	250	2 000	60 000	4	1 000	5
ИФБ300	300	300	6 500	40	7,5	∅ 65	2,5	240	1 500	5 000	8	250	10
ИФП200	200	1 250	250	27	7,5	∅ 8×200	2	1 100	1 900	3 500	0,4	600	3
ИФП500	500	1 800	300	65	7,5	∅ 8×300	3,5	1 500	2 700	12 000	1,3	3 200	3
ИФП1500	1 500	2 500	450	100	15	∅ 8×600	6	2 100	3 700	35 000	2,6	17 500	3
ИФП4000	4 000	2 000	2 000	270	15	∅ 8,5×800	8	1 700	3 000	120 000	12	32 000	3
ИФП15000	15 000	2 400	5 000	1 250	12	∅ 12×600	1,8	1 600	5 000	5 000 000	4,5	200 000	10
ИСК10	0,01	500	0,08	10	0,001	7×23×30	1	180	1 000	Средняя сила света 0,5 *св*	0,07	—	20

гается искровой разряд, излучающий мощный световой импульс. Для образования такого разряда газ в лампе толчком ионизируют маломощным высоковольтным (порядка нескольких киловольт) запускающим импульсом напряжения от импульсного трансформатора

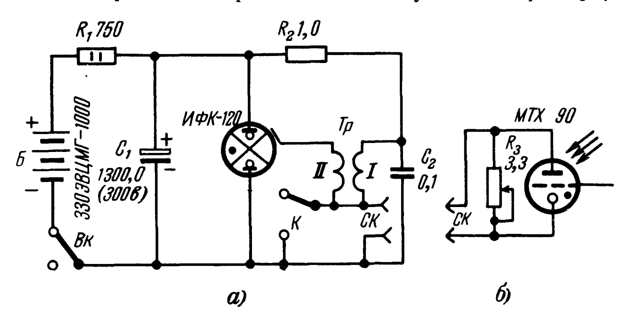


Рис. 14. Типовая схема включения импульсной лампы (*а*) и схема светосинхронизатора (*б*).

Тр. При замыкании синхроконтактов *СК* конденсатор C_2 разряжается через первичную обмотку повышающего трансформатора и в цепи поджигающего электрода возникает очень слабая искра, ионизирующая газ в лампе.

В результате действия высоковольтного пускового импульса напряжение зажигания импульсной лампы уменьшается и в ней возникает мощный искровой разряд, канал которого вскоре заполняет все внутреннее сечение разрядной трубки. Этот разряд продолжается до тех пор, пока конденсатор C_1, питающий лампу, не разрядится до напряжения погасания лампы.

В стадии сформировавшегося разряда плазма в импульсных лампах обладает активным сопротивлением порядка 1 *ом* или долей ома, благодаря чему в лампах может быть рассеяна почти вся энергия, запасенная в конденсаторе. Длительность вспышки лампы зависит от емкости конденсатора C_1 и колеблется от 10^{-2} до 10^{-6} *сек*. Основные данные импульсных ламп приведены в табл. 4.

Импульсные лампы широко применяются в фотографии, высокоскоростной киносъемке, для световой сигнализации, для запуска квантовых генераторов и т. п.

Рис. 15. Лампы с холодным катодом.

Тиратроны с холодным катодом

Тиратроны с холодным катодом являются преимущественно приборами тлеющего разряда. В отличие от неоновых ламп тиратроны имеют дополнительные электроды, которые влияют на напряжение зажигания разрядного промежутка анод — катод. В настоящее время для электронных устройств выпускаются триоды, тетроды, а также многоэлектродные лампы с одним или несколькими управляющими электродами. Последние предназначены для выполнения различных логических операций.

Управление зажиганием разряда во всех тиратронах основано на том, что напряжение зажигания разряда между анодом и катодом снижается при возрастании концентрации начальных зарядов в области ускоряющего поля анода. В зависимости от способа управления зажиганием разряда различают тиратроны с токовым управлением и тиратроны с электростатическим управлением.

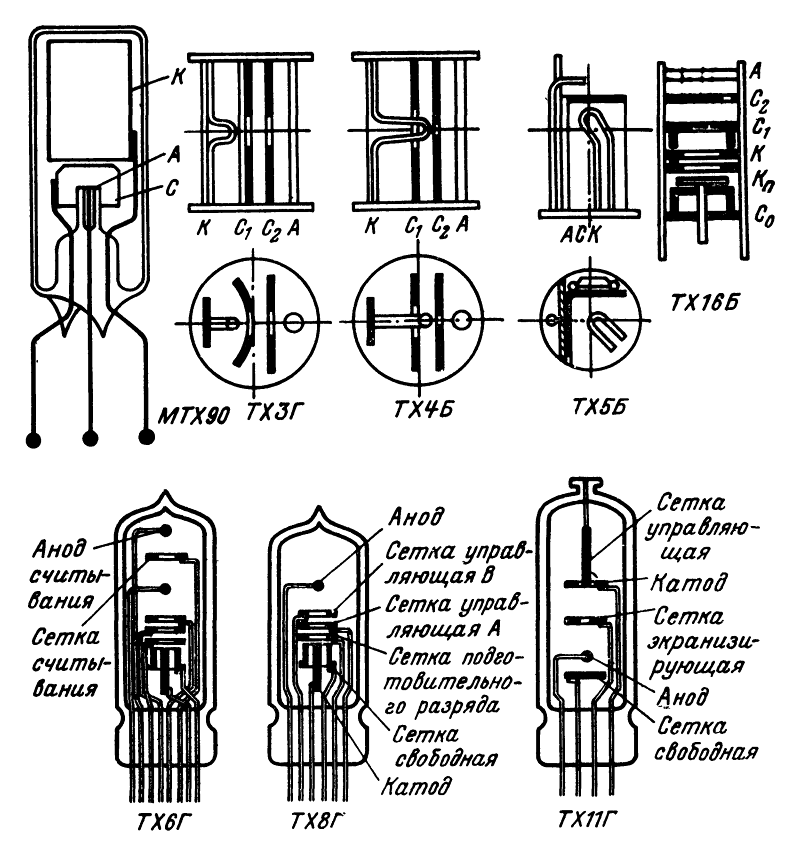


Рис. 16. Устройство тиратронов МТХ90, ТХ3Б, ТХ4Б, ТХ6Г, ТХ8Г, ТХ11Г, ТХ16Б.

Тип	Основное назначение тиратрона	Рабочее напряжение анода, *в*	Наибольшее падение напряжения между анодом и катодом, *в*	Отпирающее напряжение сетки при номинальных значениях напряжения анода и тока подготовки, *в*
1	2	3	4	5
МТХ90	Общего назначения	85—200	65	—
ТХ3Б	Общего назначения	150—190	112	65—75
ТХ4Б (сетки соединены)	Общего назначения	150—180	125	—
ТХ5Б	Общего назначения	175—250	160	—
ТХ6Г	Выполнение логической операции „И" и „Память"	270—300^Δ	$\Delta U_{c2}=145$ $\Delta U_{a2}=160$	$U_{c2}=85\div102$* (при $U_{c3}=100$ *в*) $U_{c3}=53\div74$* (при $U_{c2}=140$ *в*) $U_{c4}=93\div100$* (при $I_{a1}=300$ *мка*)
ТХ8Г	Выполнение логической операции „И"	270—300^Δ	145	$U_{c2}=86\div100$* (при $U_{c3}=100$ *в*) $U_{c3}=53\div74$* (при $U_{c2}=140$ *в*)
ТХ9Г	Выполнение логической операции „И—ИЛИ"	270—300	140	$U_{c3}=69\div89$* (при $U_{c2}=140$ *в*, $U_{c4}=40$ *в*) $U_{c4}=63\div92$* (при $U_{c2}=140$ *в*, $U_{c3}=40$ *в*)
ТХ7Г	Выполнение логической операции „ЗАПРЕТ"	270—300	150	$U_{c3}=55\div85$ (при $U_{c2}\leqslant100$ *в*)
ТХ12Г	Управление электромеханическими устройствами	250—300	140 (при I_a= =100 *ма*)	73—90*
ТХ13Г	Быстродействующий тиратрон общего назначения**	180—220	120	76—92*
ТХ16Б	Световая индикация малых постоянных и импульсных напряжений	180—260 (при напряжении второй сетки 180—220 *в*)	160	$-0{,}8\div-2{,}2$*** (U_{c2}= =220 *в*)
ТХ11Г	Использование в схемах с большим сопротивлением источника сигнала****	200—230 *в* (при U_0= =100÷ 115 *в*)	110	Напряжение зажигания промежутка сетка—катод 102—112 *в**

* Приведены данные по фактическим разбросам отпирающего напряжения сетки.
** Время восстановления анодного пробивного напряжения не более 5 *мксек*.
*** Величина результирующего входного сигнала (потенциального или импульсно
**** Ток источника сеточного сигнала, необходимый для зажигания, не менее 10^{-10}
Δ При $U_{c3}=0$, при $U_{c3}=35\div50$ *в* напряжение анода может быть увеличено до

Таблица 5

тиратронов тлеющего разряда

Сеточный ток зажигания, *мка* при наибольшем напряжении анода	Сеточный ток зажигания, *мка* при наименьшем напряжении анода	Наибольший средний ток анода, *ма*	Наибольшая амплитуда тока анода, *ма*	Рекомендуемый ток подготовительного разряда, *мка*	Срок службы, *ч*
6	7	8	9	10	11
≥8 ($U_а$=120 *в*)	≤100 ($U_а$=85 *в*)	2 (в триггерном режиме) 7 (в релейном режиме)	4 (в триггерном режиме) 35 (в релейном режиме)	2—3 ($U_а$=120 *в*)	5 000 (в триггерном режиме)
—	—	3,5 (в триггерном режиме)	7,0	≥50	5 000
≥9	≤50	3,5	70 (при $t_и$≤100 *мксек*) 7,0 (при $t_и$≤10 *сек*)	5—8 ($U_а$≤180 *в*)	1 500 (при $I_{ср}$=3,5 *ма*)
≥12	≤75	0,25	1,5	10—15 ($U_а$≤225 *в*)	5 000
—	—	8 (в режиме триггера)	400 (при $t_и$≤0,1 *мсек*)	75—125	5 000
—	—	8 (в режиме триггера)	400 (при $t_и$≤0,1 *мсек*)	75—125	5 000
—	—	8 (в режиме триггера)	400 (при $t_и$≤0,1 *мсек*)	75—125	5 000
—	—	1	2	65—85	5 000
—	—	10	100 (при $t_и$≤250 *мсек*)	50—100	1 000
—	—	1,0	5,0	50—200	5 000
—	—	1,0	5,0	300—600	5 000
	—	10	—	0,1—3,0 *мка* (при токе источника сигнала ≥10^{-7} *а*)	—

го при длительности $t_и$≥50 *мксек*).
—10^{-12} *а* (при емкости между сеткой и катодом не менее 50 *пф*).
320 *в*.

При токовом управлении зажигание разряда между анодом и катодом происходит при достижении сеточным током некоторой критической величины — сеточного тока зажигания. При электростатическом управлении зажигание разряда происходит при увеличении напряжения на управляющей сетке до некоторой критической величины — отпирающего напряжения.

Внешний вид и конструкция основных типов тиратронов показаны на рис. 15 и 16. Основные параметры тиратронов приведены в табл. 5. В паспортах, обычно прилагаемых к лампам, указывается значительно больше данных, гарантируемых заводом-изготовителем.

В качестве примера ниже приводится паспорт тиратрона ТХ18А.

Тиратрон типа ТХ18А
ЩАЗ.340.045.ТУ

Сверхминиатюрный тиратрон тлеющего разряда в стеклянном оформлении с гибкими выводами, предназначенный для работы в дискретных схемах устройств широкого применения.

I. Основные технические данные

1. Напряжение зажигания анод — катод при сетке, соединенной с катодом — не менее 175 *в*
2. Напряжение зажигания анод — катод при токе подготовки 3 *мка* — не менее 160 *в*.
3. Напряжение зажигания сетка — катод — 67—87 *в*
4. Падение напряжения сетка — катод при токе 3 *мка* — 67—82 *в*
5. Падение напряжения анод — катод при токе 0,5 *ма* — 52—62 *в*
6. Амплитуда напряжения входного импульса прямоугольной формы длительностью 10 *мксек* при токе подготовки 3 *мка* и емкости разделительного конденсатора в цепи сетки 33 *пф* — 10 — 20 *в*
7. Время восстановления электрической прочности при токе анода 1 *ма* — не более 400 *мксек*
8. Долговечность в триггерном режиме при частоте 500 *гц* — не менее 5 000 *ч*
9. Высота наибольшая (без выводов) — 30 *мм*
10. Диаметр наибольший — 7,7 *мм*
11. Масса тиратрона — не более 2 *г*

II. Предельно допустимые эксплуатационные значения

1. Наибольшее напряжение анода:
   при свободной сетке — 225 *в*
   при сетке, соединенной с катодом, — 165 *в*
   при токе подготовки не более 1 *мка* — 170 *в*
   при токе подготовки не более 3 *мка* — 150 *в*
   при токе подготовки не более 5 *мка* — 140 *в*
2. Наименьшее напряжение анода
3. Наибольший ток анода в триггерном режиме (установившееся значение — 0,5 *ма*
4. Наименьший ток анода в триггерном режиме (установившееся значение) — 0,2 *ма*
5. Амплитуда напряжения входного импульса прямоугольной формы длительностью 10 *мксек* при емкости разделительного конденсатора в цепи сетки 18—51 *пф* — 40÷80 *в*.

6. Температура окружающей среды — от —60 до +70 °С.

Разработка схем должна быть основана на данных, указанных в паспортах ламп. Ниже рассматриваются тиратроны, нашедшие более широкое применение.

Тиратроны с токовым управлением

Этот вид управления зажиганием разряда используется в большинстве зарубежных тиратронов и в отечественных тиратронах МТХ90, ТХ4Б (в триодном включении), ТХ5Б, ТХ11Г и ТХ18А.

Тиратрон МТХ90 представляет собой совокупность двух неоновых ламп с одним общим электродом. Он изготовляется в виде стеклянной колбочки диаметром 10—12 *мм* и высотой 28—32 *мм*. Высота с выводами не более 42 *мм*. Расположение электродов в лампе МТХ90 показано на рис. 16. Катод *К* представляет собой тонкий никелевый цилиндр диаметром 8 *мм* и длиной 12 *мм*. Внутренняя поверхность цилиндра окислена и активирована цезием. Анод *А* изготовляется из молибденовой проволоки диаметром 0,5—0,6 *мм*, которая служит продолжением среднего ввода. Управляющий электрод *С* изготовляется в виде цилиндра и его называют сеткой.

Сетка расположена вблизи катода, так чтобы напряжение зажигания разряда между ней и катодом было меньше, чем между анодом и катодом.

Благодаря цилиндрической форме катода МТХ90 и большой его поверхности распыленные во время работы частицы катода оседают вновь на поверхность катода. Все это увеличивает срок службы лампы при больших токах. Плоский и прозрачный торец баллона позволяет использовать тиратрон в индикаторных целях при установке МТХ90 на лицевых панелях приборов. Сейчас для таких приборов куполу баллона придается форма линзы.

Тиратрон ТХ4Б имеет четыре электрода: анод, катод и две сетки. Однако в схемах рекомендуется применять его как триод, т. е. обе сетки соединяют между собой накоротко. В таком включении (с токовым управлением зажиганием) надежность этого тиратрона значительно выше, чем в тетродном включении. Конструктивные особенности этой лампы рассматриваются далее с аналогичной по конструкции лампой ТХ3Б, рекомендуемой для применения в тетродном режиме.

Лампа ТХ5Б является триодом. Катод изготовляется из молибденовой проволоки диаметром 0,4 *мм*, изогнутой таким образом, чтобы выступ катода был расположен против отверстия в сетке. Сетка выполняется в виде диска с отверстием диаметром 0,4 *мм*. Анод представляет собой никелевую проволоку, изогнутую в виде буквы Г. Необходимое напряжение питания 175—250 *в*. Такое повышенное напряжение позволяет получать импульсы значительной амплитуды, используемые, например, для запуска декатрона. Свечение лампы во время прохождения анодного тока довольно яркое и может быть использовано для целей индикации.

Лампа ТХ18А представляет собой сверхминиатюрный тиратрон тлеющего разряда. Конструкция тиратрона ТХ18А подобна конструкции МТХ90, катод ТХ18А также активирован цезием. Однако размеры ТХ18А значительно меньше, чем размеры МТХ90: наибольший диаметр — 7,7 *мм*, высота наибольшая (без выводов) — 30 *мм* (выводы гибкие).

Рассмотрим подробнее *принцип работы ламп с токовым управлением зажиганием*. На основной разрядный промежуток анод — катод подается питающее напряжение E_0, удовлетворяющее условию $U_{г.а}<E_0<U_{з.а}$, где $U_{з.а}$ и $U_{г.а}$ — напряжение зажигания и горения промежутка анод — катод соответственно. При таком напряжении в анодной цепи разряд самопроизвольно не зажигается, но зажженный разряд будет гореть.

Если теперь подать пусковое напряжение на сетку, то в управляющем промежутке сетка — катод зажигается разряд и в цепи сетки под действием напряжения пускового сигнала возникает ток самостоятельного разряда. Часть электронов из пространства между

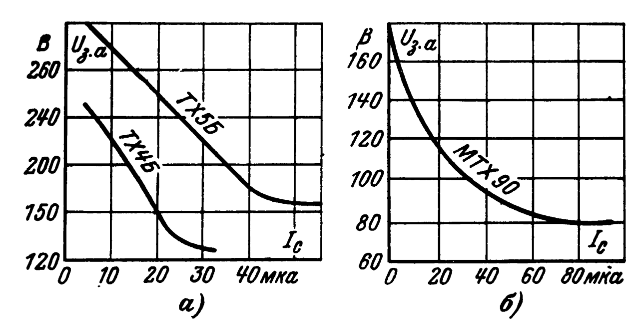


Рис. 17. Токовые пусковые характеристики тиратронов.

сеткой и катодом будет диффундировать в пространство между анодом и катодом, создавая там начальную проводимость. При этом разряд в цепи сетки является как бы внешним ионизатором для разрядного промежутка анод — катод. Чем больше ток сетки $I_с$, тем больше начальная проводимость промежутка анод — катод и тем меньше напряжение зажигания этого промежутка $U_{з.а}$.

Зависимость между током сетки и напряжением зажигания по цепи анода $U_{з.а}=f(I_с)$ называют пусковой токовой характеристикой тиратрона. Усредненные пусковые характеристики ламп МТХ90, ТХ4Б и ТХ5Б приведены на рис. 17.

Пусковые характеристики тиратронов зависят от формы электродов, их центровки, межэлектродных расстояний и других факторов, которые могут изменяться при переходе от одного экземпляра к другому. Все это приводит к разбросу пусковых характеристик. На рис. 18 штриховкой показана область возможных пусковых характеристик тиратронов МТХ90. Разброс характеристик существует и у других тиратронов [Л. 13, 14]. Поэтому при расчете схем нужно учитывать пусковую область.

Таким образом, током сетки в несколько микроампер можно в цепи анода зажечь разряд и возбудить там ток до нескольких миллиампер, а при коротком импульсе — до десятых долей ампера, т. е. тиратрон позволяет увеличить сигнал по току в тысячу и более раз.

Возникший разряд в цепи анода не может быть погашен последующим уменьшением тока сетки и даже подачей отрицательного напряжения на сетку. Последнее объясняется тем, что положительные ионы, заполняющие лампу, нейтрализуют отрицательный потенциал сетки. Для того чтобы погасить разряд в цепи анода, необ-

ходимо уменьшить анодное напряжение до значения, меньшего напряжения горения $U_{г\,а}$. Возможны и другие способы гашения, о них будет сказано далее.

Для стабилизации зажигания тиратрона сетку через большое сопротивление соединяют с положительным полюсом источника питания (см. рис. 25,*г*). При таком включении в цепи сетки возбуждается самостоятельный тихий разряд, величина тока которого ограничивается резистором и устанавливается несколько меньше пускового тока, зажигающего разряд в анодном промежутке. Этот ток сетки называется током подготовки. Ток подготовки создает в лампе начальную ионизацию и этим стабилизирует время зажигания разряда. Если в лампе не имеется некоторой начальной ионизации, то разряд в лампе возникает через неопределенное время, в результате чего лампа не каждый раз успеет сработать от коротких импульсных сигналов.

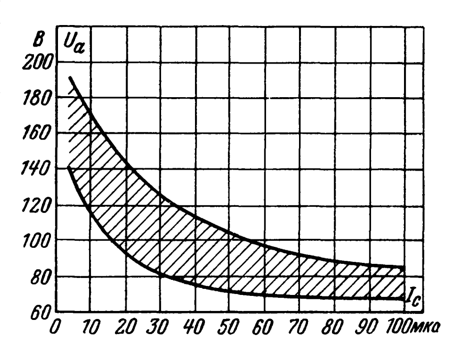


Рис. 18. Область разброса пусковых характеристик тиратрона МТХ90.

Однако на свету лампы МТХ90 и ТХ18А, имеющие активированный катод, могут работать без тока подготовки, так как начальная ионизация в лампах может возбуждаться за счет действия квантов света, выбивающих электроны из цезиевого катода. Более того лампы с активированным катодом могут стабильно работать и в темноте, так как начальное число электронов в них может быть вызвано за счет холодной эмиссии из катода. Другие же лампы с чисто металлическими катодами без тока подготовки практически работать не могут, ибо без него всегда неизбежны случайные отказы в срабатывании, даже при пусковых импульсах большой длительности (порядка секунд).

Ток подготовки в триодном включении позволяет повысить чувствительность ламп, т. е. уменьшить величину входного импульса, подаваемого через конденсатор *С*. Пусть, например, на анод МТХ90 подано напряжение 110 *в*. Из среднего значения пусковой характеристики (рис. 17,*б*) следует, что для зажигания анодного промежутка без тока подготовки необходимо в цепи сетки возбудить за счет входного импульса ток 20 *мка*. При наличии тока подготовки, например, 3 *мка* на долю входного импульса приходится лишь 17 *мка*.

Уместно заметить, что при расчете схем на работу от коротких пусковых импульсов длительностью меньше 10—15 *мксек* необходимо пользоваться динамическими входными характеристиками [Л. 13, 14]. Как правило, при одном и том же токе подготовки с уменьшением длительности пускового импульса его амплитуда напряжения должна быть больше.

Электрометрический тиратрон тлеющего разряда типа ТХ11Г предназначен для регистрации малых токов (нижний предел 10^{-10}—

10^{-11} *а*). Применяется и для усиления сигналов, вырабатываемых высокоомными датчиками (ионизационными камерами, фотоэлементами) в таймерах на большие интервалы времени.

Катод лампы выполнен из молибдена в виде плоской молибденовой пластины с центральным отверстием, в которое входит сетка, изготовленная в виде стержня. Сетка выводится в купол баллона. Тиратрон наполняется неоном с добавлением 1% аргона. Тиратрон ТХ11Г может использоваться без тока подготовки и с током подготовки. Подготовительный разряд поддерживается между анодом и вспомогательным электродом — свободная сетка (рис. 16).

Электрометрический тиратрон отличается от других тиратронов тлеющего разряда меньшей величиной предразрядного тока и тока утечки. Малые токи сетки определяют возможность заряда емкости конденсатора, включенного между сеткой и катодом лампы, регистрируемым током величиной 10^{-10}—10^{-11} *а*. Когда напряжение на сеточном промежутке достигает напряжения зажигания, происходит разряд этого конденсатора. Амплитуда импульса разрядного сеточного тока значительно превышает регистрируемый ток. Сеточный импульсный разряд служит источником начальных электронов. При достаточных напряжениях на экранирующей сетке и аноде электроны проходят к аноду и вызывают зажигание по анодной цепи.

Для уменьшения величины регистрируемого тока сетки уровень начальной ионизации должен быть достаточно низким. Небольшая начальная ионизация, необходимая для снижения статистического запаздывания зажигания, создается радиоактивным источником малой мощности, помещаемым внутри баллона лампы. Уменьшение тока утечки по изоляторам достигается удалением вывода сетки от выводов других электродов (сетка выводится через купол баллона), покрытием внешней поверхности стеклянной колбы гидрофобизирующим составом, созданием развитой поверхности внутриламповых изоляторов.

Тиратроны с электростатическим управлением

Электростатическое управление зажиганием используется в тиратроне — тетроде ТХ3Б, тиратроне с малым управляющим напряжением ТХ16Б, многосеточных логических тиратронах ТХ6Г, ТХ7Г, ТХ8Г, ТХ9Г, быстродействующем тиратроне ТХ13Г и др.

Тиратроны ТХ3Б и ТХ4Б (рис. 16) называют тетродами, так как они имеют четыре электрода: анод, катод и две сетки. Одна сетка является управляющей, а вторая применяется лишь для создания тока подготовки. Конструкция этих ламп почти одинакова и характеризуется параллельным расположением электродов вдоль оси баллона.

Электроды ламп укрепляются на слюдяных дисках. Катод представляет собой молибденовую пластину, к которой приваривается проволока, изогнутая в центральной своей части в виде петли. Эта выступающая часть катода направлена в сторону первой сетки и служит для фиксации подготовительного разряда.

Сетки представляют собой сплошные никелевые пластины с маленькими отверстиями в центральной части против выступа катода. Анод лампы выполнен из никелевой проволоки. У лампы ТХ4Б выступающая часть катода входит в отверстие сетки. Прохождение анодного тока в лампах сопровождается свечением, которое

наблюдается со стороны боковой поверхности баллона. Со стороны купола свечение видно только у лампы ТХ4Б.

Принцип работы ламп ТХ3Б и ТХ4Б в тетродном режиме таков. В промежутке первая сетка — катод зажигают разряд и возбуждают ток подготовки порядка единиц или десятков микроампер. При этом потенциал первой сетки положителен и имеет значение 60—100 *в*. На вторую сетку также подается положительное относительно катода напряжение (смещение), которое на несколько десятков вольт ниже напряжения на первой сетке. В результате между сетками создается сильное тормозящее электрическое поле, препятствующее движению электронов от катода к аноду даже при значительном напряжении на аноде (100—200 *в*).

Если постепенно повышать потенциал второй сетки, то тормозящее поле будет ослабляться и при некотором потенциале, близком к потенциалу первой сетки, уменьшится настолько, что наиболее быстрые электроны преодолеют это поле и попадут в ускоряющее поле анода. Двигаясь в поле анода, они приобретают кинетическую энергию, достаточную для интенсивной ударной ионизации, что приводит к зажиганию тлеющего разряда в цепи анода.

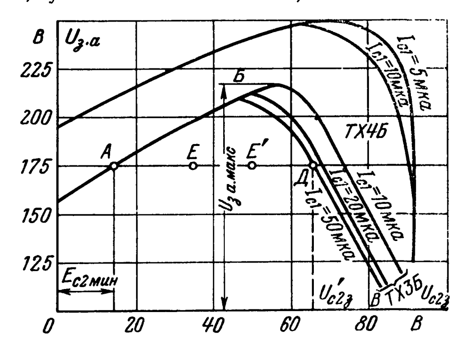


Рис. 19. Потенциальные пусковые характеристики тиратронов ТХ3Б, ТХ4Б.

При подаче на анод более высокого напряжения ускоряющее поле анода, проникая через отверстие сеток, ослабляет тормозящее поле между сетками. В результате зажигание разряда анодной цепи происходит при потенциале на второй сетке, меньшем чем в первом случае. Следовательно, каждому значению анодного напряжения соответствует строго определенное напряжение на второй сетке $U_{с2з}$, при котором зажигается разряд в цепи анода. Таким образом, изменяя потенциал на второй сетке, можно управлять напряжением зажигания в анодной цепи, поэтому такой способ управления зажигания называют электростатическим или потенциальным. График зависимости между напряжением на аноде $U_{з\,а}$ и на второй сетке $U_{с2з}$, при которых зажигается разряд в анодной цепи, называется **потенциальной пусковой характеристикой тетродов**. Семейство усредненных пусковых характеристик при различных токах подготовки $I_{с1}$ тиратронов ТХ3Б и ТХ4Б приведено на рис. 19.

У разных образцов ТХ3Б и ТХ4Б разброс этих характеристик не превышает 5—10%.

Следует заметить, что зажечь тиратрон можно изменением каждой из величин $U_{с2}$, $U_{а}$, $I_{с1}$ в отдельности, попарно или всех трех одновременно. Это позволяет использовать такие тиратроны в качестве каскада совпадения (схемы «И») на два и даже на три входа.

Однако практика показала, что конструкция тиратрона ТХ4Б недостаточно приспособлена к использованию в режиме с электростатическим управлением, и поэтому в качестве основного режима работы ТХ4Б рекомендуется триодный режим с током подготовки. Для этого обе сетки соединяют между собой накоротко. Токовая пусковая характеристика тиратрона ТХ4Б приведена на рис. 17.

Тиратрон ТХ16Б (рис. 16) в основном предназначен для световой индикации малых постоянных и импульсных напряжений. В этом тиратроне катоды основного и подготовительного разрядов разделены. Катод основного разряда K заземлен и является анодом подготовительного разряда. На катод подготовительного разряда $K_п$ подается отрицательное напряжение. Тиратроны ТХ16Б отличаются повышенной стабильностью входных характеристик, поскольку в отличие от других тиратронов отпирающее сеточное напряжение в этих приборах не зависит от величины падения напряжения в подготовительном разряде.

Большой срок службы, высокая надежность, малое потребление электроэнергии и возможность управления зажиганием разряда в тиратроне непосредственно от транзисторных схем (рис. 29) делают применение этого тиратрона весьма перспективным.

Логические тиратроны

Здесь приводится лишь краткое описание логических тиратронов ТХ6Г и ТХ8Г [Л. 12].

Лампа ТХ8Г (рис. 16) является тиратроном тлеющего разряда и предназначается для выполнения логической операции «И». Кроме анода и катода, лампа имеет группу электродов для управления зажиганием — сетку подготовительного разряда и две управляющие сетки. Катод лампы выполнен из молибдена. Тиратрон наполняется неоном. Управление возникновением анодного тока в тиратроне основано на том, что напряжение зажигания разряда между анодом и катодом снижается при возрастании концентрации начальных электронов. Источником начальных электронов служит разряд между сеткой подготовительного разряда и катодом. Прохождение

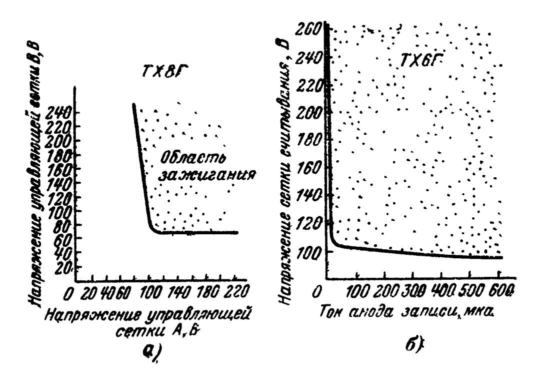


Рис. 20. Характеристики зажигания тиратронов ТХ8Г и ТХ6Г.

электронов к аноду определяется тормозящим полем, созданным совместным действием двух управляющих сеток. Зажигание происходит при уменьшении тормозящего потенциала, т. е. при повышении напряжений до пороговых значений одновременно на обеих сетках. Характеристика зажигания тиратрона изображена на рис. 20,*а*. Характеристика зажигания такой формы позволяет реализовать на одном тиратроне схему совпадения.

Запаздывание импульса тока анода относительно сигналов на управляющих сетках имеет сравнительно малую величину (10^{-5} *сек*) из-за большой концентрации начальных зарядов, создаваемых подготовительным разрядом. Вместо величины запаздывания могут указываться минимальные длительности входных сигналов.

Свечение красного цвета наблюдается со стороны купола лампы и с боковой стороны.

В том случае, когда напряжения сигналов существенно превышают пороговые значения, величина сеточного тока определяется амплитудой сеточного напряжения, сопротивлением резистора в сеточной цепи и напряжением на промежутке управляющая сетка — катод. Следует отметить, что тиратрон ТХ8Г может использоваться в тетродном режиме, для чего достаточно объединить его вторую и третью сетки. В этом случае принцип действия этого тиратрона будет аналогичен принципу действия тиратрона ТХ3Б.

Лампа типа ТХ6Г (рис. 16) предназначена для выполнения логической операции «Память». Этот тиратрон состоит из двух элементов, один из которых служит для записи информации, а другой — для считывания. Элемент записи представляет собой тиратрон, выполняющий операцию «И», способом, осуществленным в лампе типа ТХ8Г. Разряд между анодом и катодом элементов записи служит источником начальных электронов для следующего промежутка, в котором имеются своя управляющая сетка и анод для считывания информации. В элементе считывания зажигание определяется тормозящим полем этой управляющей сетки. При повышении напряжения на сетке до критического значения разряд на анод считывания возникает только в том случае, когда проходит анодный ток в элементе записи (рис. 20,*б*). Считывание может производиться многократно, так как прохождение импульса тока в цепи анода считывания не вызывает стирания (т. е. гашения разряда в элементе записи).

Конструкция тиратрона подобна конструкции ТХ8Г. Свечение тиратрона наблюдается со стороны боковой поверхности.

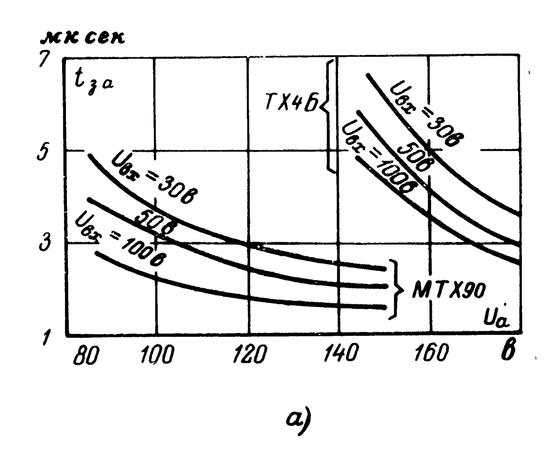
Длительность входного сигнала для выходного сопротивления датчика сигналов 5×10^{10} *ом* и емкости накопительного конденсатора между сеткой и катодом в 30 *пф* составляет 20 *мксек*. При малой постоянной времени входной цепи длительность входного сигнала может быть менее 2 *сек*. Она может быть уменьшена до 0,1 *сек* путем создания слаботочного подготовительного разряда между анодом и свободной сеткой, которая в этом случае соединяется с катодом через резистор сопротивлением 10^8—10^9 *ом*.

Некоторые динамические характеристики

Для зажигания любой газоразрядной лампы необходимо не только поднять напряжение на ее электродах несколько выше напряжения зажигания. Нужно еще, чтобы источник пусковых сигналов обеспечил ток, необходимый для зажигания разряда. Хотя этот

ток очень мал (например, у тетродов 0,1—15 *мка*), но тем не менее для его возбуждения требуется некоторое время. Этим объясняется инерционность ламп.

На рис. 21,*а* показана зависимость времени запаздывания зажигания разряда в цепи анода $t_{а з}$ от анодного напряжения $U_а$ при различных амплитудных значениях напряжения входного сигнала в цепи сетки $U_{вх}$. Очевидно, чем больше напряжение входного сигнала, а также чем больше начальная ионизация в лампе, тем интенсивнее происходит лавинообразная ионизация и разряд фор-



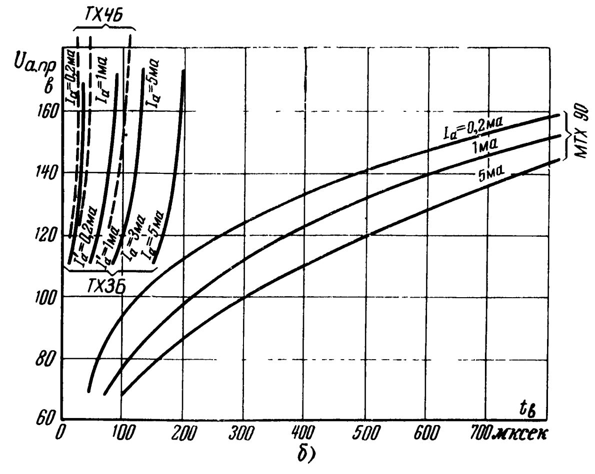


Рис. 21. Характеристики запаздывания зажигания разряда в цепи анода (*а*) и характеристики восстановления пробивной прочности анодного промежутка тиратрона (*б*).

мируется быстрее. В результате при большой амплитуде длительность пускового импульса может быть уменьшена.

Для примера на рис. 18 приведена зависимость амплитуды необходимого пускового импульса $U_{вх}$ от его длительности при различных токах подготовки для случая, когда лампа МТХ90 работает в самостабилизированном режиме, а форма импульса прямоугольная. Для других форм импульса значение $U_{вх}$ необходимо увеличить.

Тиратроны типа ТХ3Б имеют более высокую чувствительность, чем МТХ90. Минимальное значение $U_{вх}$ для ТХ3Б составляет 4—6 *в*. Они имеют и значительно меньший разброс входных динамических характеристик.

Чтобы подготовить тиратрон к регистрации следующего пускового импульса, необходимо лампу возвратить в исходный режим или, как говорят, восстановить пробивную прочность. А для этого также необходимо время.

Пока в тиратроне происходит процесс деионизации, его пробивное напряжение (или напряжение зажигания по анодной цепи) повышается тем более, чем больше времени прошло с момента потухания разряда. Зависимость пробивного напряжения по цепи анода ($U_{а.пр}$) от времени, прошедшего с момента погасания тиратрона ($t_в$), называют характеристикой восстановления. Такие характеристики тиратронов при различных значениях анодного тока $I_а$ в момент потухания разряда приведены на рис. 21,*б*. Из этих характеристик видно, что процесс деионизации в тиратроне ТХ4Б протекает быстрее, чем в лампах ТХ3Б и МТХ90. В тиратронах ТХ13Г время восстановления 1—10 *мксек*.

С учетом приведенных динамических характеристик тиратроны МТХ90, например, могут устойчиво работать только на частотах не выше 5—10 *кгц*. Однако с учетом запаса надежности в многоламповой аппаратуре завод-изготовитель рекомендует частотный диапазон для тиратронов МТХ90 300—500 *гц* при $U_{вх}=50$ *в*, $\tau_{вх}=20$ *мксек*. Для ТХ4Б предельная частота 2—3 *кгц* при $U_{вх}=30$ *в*, $\tau_{вх}=20$ *мксек*. Для ТХ5Б частота 3—4 *кгц* при $U_{вх}=30$ *в*, $\tau_{вх}=20$ *мксек*. Частотные свойства ТХ4Б и ТХ5Б несколько улучшаются с увеличением амплитуды запускающих импульсов [Л. 14].

Наиболее быстродействующие современные лампы с водородным наполнением имеют время срабатывания 0,1—0,3 *мксек*, а время восстановления 0,5—0,7 *мксек*. Такие лампы обеспечивают около миллиона срабатываний в секунду.

Глава третья

КОНТРОЛЬ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛАМП С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ

Схемы для измерения основных параметров и характеристик разрядных промежутков

Измерения напряжения зажигания и напряжения горения можно производить с помощью схемы, ранее приведенной на рис. 1,*а*. В этой схеме в качестве измерительных приборов можно использовать широко применяемые в радиолюбительской практике ампервольтомметры. Если имеется в наличии статический или высокоомный вольтметр, то его подключают так, как показано пунктиром.

Миллиамперметр A и резистор R_1 подбираются с учетом величины тока в лампе, допускаемой техническими условиями. Напряжение источника питания $U_б$ должно быть на несколько десятков вольт больше напряжения зажигания лампы; в качестве источника питания можно использовать как гальваническую батарею, так и выпрямитель с фильтром. Напряжение на лампу подают через потенциометр. Можно использовать как высокоомный лабораторный потенциометр, так и переменные резисторы типа СП с допустимой мощностью рассеяния 2 *вт*.

Измерения проводятся в следующем порядке. При плавном увеличении напряжения, снимаемого с потенциометра, в некоторый момент в лампе зажигается разряд и прибор A покажет ток. При этом показание вольтметра $U_л$ скачком уменьшается на величину падения напряжения на резисторе R_1. Максимальное показание вольтметра $V_л$ в момент зажигания разряда соответствует напряжению зажигания разряда в лампе $U_з$. Показание вольтметра, установившееся после зажигания разряда, соответствует напряжению горения лампы $U_г$ при токе I.

Напряжения зажигания и горения можно определить и с помощью низкоомного вольтметра, потребляющего ток порядка десятков миллиампер. Измерительная схема при использовании такого вольтметра такая же, как и на рис. 1.

Напряжение зажигания определяется непосредственно по вольтметру $V_б$ в момент скачка тока в цепи лампы. Включение вольтметра до резистора нагрузки R_1 почти не влияет на определение напряжения $U_з$, так как ток несамостоятельного разряда, предшествующий зажиганию, ничтожно мал (порядка 10^{-5} *а*). Напряжение горения в этом случае определяется по формуле $U_г = U_б - IR_1$. Значение тока I определяется по показаниям амперметра A.

Измерение напряжения гашения разряда. Напряжением гашения разряда принято считать напряжение, подаваемое на лампу и сопротивление нагрузки, в момент гашения разряда. Величина этого напряжения зависит от свойств лампы. При использовании схемы на рис. 1,*а* напряжение гашения разряда отсчитывается непосредственно по вольтметру $V_б$.

Получение вольт-амперных характеристик. При решении ряда вопросов, связанных с применением и контролем ламп с холодным катодом, часто бывает необходима вольт-амперная характеристика горящей лампы, т. е. зависимость между током в лампе и напряжением на ее электродах. Например, такая характеристика крайне необходима при проверке стабилитронов (рис. 12). Эти характеристики можно получить с помощью схемы на рис. 1,*а*. Необходимо лишь измерить ряд значений напряжения горения лампы при различных токах в ней. Ток задают путем изменения напряжения, снимаемого с потенциометра.

Сначала после зажигания разряда напряжение увеличивают и фиксируют ряд значений тока и соответствующие напряжения горения. Затем напряжение уменьшают вплоть до момента гашения разряда и получают еще ряд значений тока и напряжения горения. По полученным значениям тока и напряжения горения строят график.

Измерения параметров диодных промежутков многоэлектродных ламп. Многоэлектродные лампы с холодным катодом можно рассматривать как совокупность нескольких газоразрядных диодов.

Например, триод МТХ90 представляет собой совокупность двух диодов с одним общим катодом: сетка — катод, анод — катод. Разрядный промежуток сетка — анод также является диодом. Тетроды типа ТХ (с четырьмя электродами) содержат следующие основные диоды: первая сетка — катод, вторая сетка — катод, анод — катод, анод — вторая сетка. Если брать другие комбинации электродов, го число диодов увеличится.

В число основных параметров многоэлектродных ламп как в технических паспортах ламп, так и в справочных таблицах указываются параметры их основных диодных промежутков, используемых при работе.

Для измерения параметров диодных промежутков в многоэлектродных лампах и построения их характеристик можно использовать только что описанную методику по схеме на рис. 1,*а*.

Получение характеристик на экране осциллографа

Получение характеристик путем ряда измерений и последующего построения графиков по точкам — путь весьма трудоемкий. Применение же осциллографа позволяет экономить время и повышать качество контроля.

Достоинства осциллографического метода особенно ощутимы при отборе ламп с одинаковыми характеристиками. Этот подбор осуществляется сравнением осциллограмм характеристик испытуемой лампы с характеристиками лампы, принятой за образцовую. Устройство для такого контроля ламп приведено на рис. 22.

Практически это сравнение делают так. Сначала на экране осциллографа получают в крупном плане осциллограмму характеристики образцовой лампы $Л_1$. Затем копируют ее на кальку, приложенную к экрану, а также отмечают область допустимого разброса. На этом настройка по образцовой лампе заканчивается. После этого,

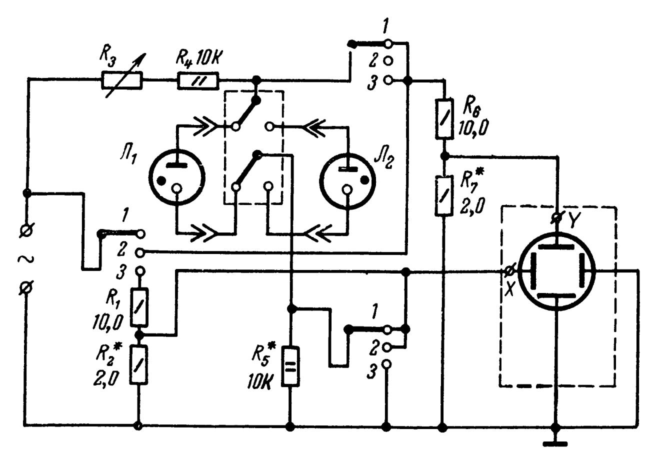


Рис. 22. Схема для получения основных характеристик ламп на осциллографе.

не трогая рукояток управления лучом и сохраняя постоянными другие элементы схемы, подключают тумблером испытуемую лампу $Л_2$ и проверяют, укладывается ли осциллограмма ее характеристики в допустимой области разброса.

С целью проверки зарисованной образцовой осциллограммы периодически подключают образцовую лампу и с помощью органов управления лучом вносят соответствующие коррективы, если таковые требуются.

Схема питается от сети переменного тока через потенциометр или лабораторный автотрансформатор с вольтметром (на схеме не показаны).

В положении переключателей *1* (рис. 22) на экране получается вольт-амперная характеристика. Такая характеристика для промежутка анод — катод лампы МТХ90 приведена на рис. 23,*а*. С помощью резистора R_3 и входного напряжения устанавливают соответствующий режим работы лампы. Напряжение, снимаемое с резистора R_5, подается на вход усилителя *X* (генератор развертки осциллографа при этом выключается), и смещения луча по этой оси позволяют судить о величине тока в лампе. Напряжение, снимаемое с делителя R_6—R_7, вызывает колебания луча вдоль оси *Y*. Смещение луча по этой оси показывает напряжение $U_л$ на электродах лампы. При одновременном участии луча в двух взаимосвязанных колебаниях на экране получается осциллограмма зависимости между током в лампе и напряжением на электродах лампы.

При нулевых напряжениях на входах осциллографа электронный луч находится в центре экрана. При полупериоде переменного тока, соответствующем положительному анодному напряжению, электронный луч смещается вправо от нулевой точки и на экране получается осциллограмма вольт-амперной характеристики при нормальном подключении лампы. Эта характеристика расположена над осью *X*.

При другом полупериоде переменного тока полярность включения лампы изменяется, луч смещается влево и на экране получается осциллограмма, расположенная под осью *X*, — это вольт-амперная характеристика лампы при отрицательном анодном напряжении.

Осциллограммы показывают, что в первом случае в лампе имеет место нормальный тлеющий разряд, а во втором — аномальный тлеющий разряд. Верхняя точка вертикальной линии осциллограммы нормального разряда соответствует напряжению зажигания, а горизонтальная линия — напряжению горения при разных токах. Нижняя же точка вертикального участка второй половины осциллограммы соответствует напряжению зажигания лампы при обратном подключении. Сместив нулевое положение электронного луча несколько влево и вниз, а также увеличив масштаб (усиление) по осям *X* и *Y*, можно получить в крупном плане только одну вольт-амперную характеристику при положительном анодном напряжении.

В положении переключателей *2* на экране получается зависимость между напряжением питания $U_б$ и током в лампе *I* (рис. 23,*б*). Такая осциллограмма позволяет сравнивать лампы по их внутреннему сопротивлению при положительном и отрицательном анодных напряжениях, а также по напряжению зажигания и напряжению гашения. Величину внутренних сопротивлений характеризуют скачки тока при зажигании, т. е. длина горизонтальных участков осциллограммы, отмеченных пунктиром.

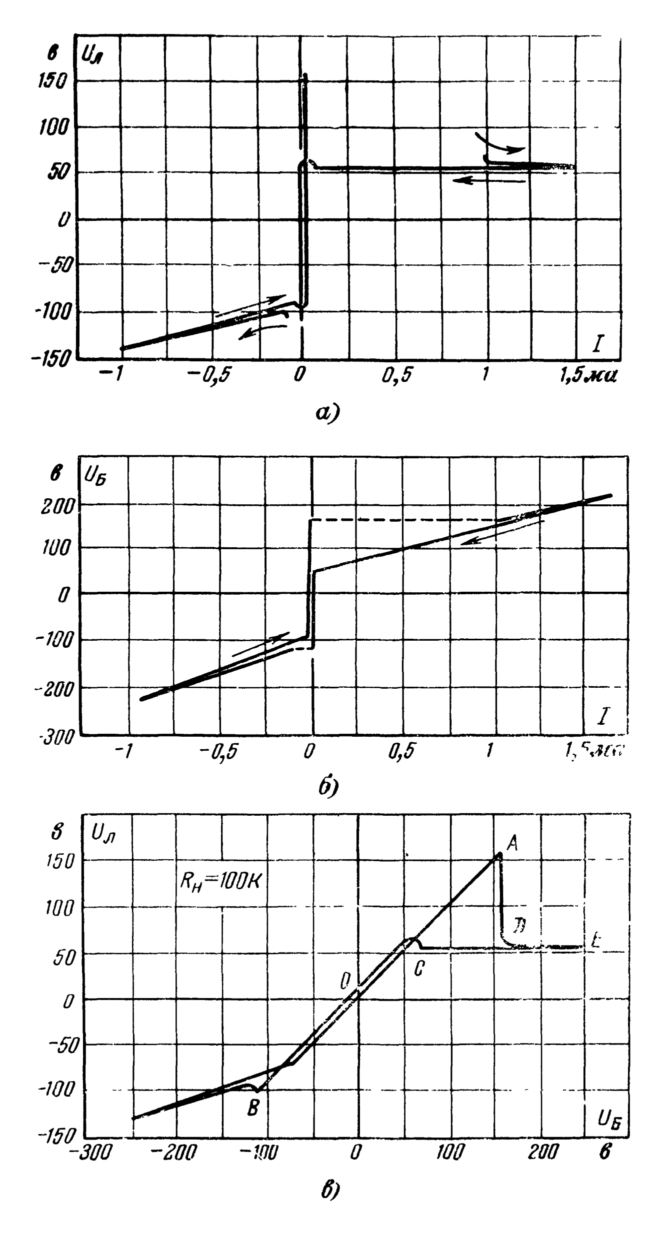


Рис. 23. Осциллограммы характеристик промежутка анод—катод лампы МТХ90.

Напряжение зажигания показывают точки на оси Y, в которых наблюдаются изломы изображения. Точки возвращения луча на ось Y соответствуют напряжению гашения лампы, а длина основания треугольников «всплеска» тока дает представление о разности между напряжением зажигания и гашения.

В положении переключателей *3* получается осциллограмма зависимости между напряжением питания $U_б$ и напряжением на электродах лампы $U_л$ (рис. 23,*в*). Такая осциллограмма удобна для сравнения стабилитронов. При положительном анодном напряжении на участке *OA* имеет место несамостоятельный разряд. В точке *A* зажигается нормальный тлеющий разряд и напряжение на лампе падает (точка *D*). По мере дальнейшего повышения напряжения $U_б$ напряжение на горящей лампе остается почти неизменным (участок *DE*). При уменьшении питающего напряжения напряжение на лампе сохраняется почти постоянным до точки *C*. Абсцисса точки *C* характеризует минимальное значение стабилизируемого напряжения (напряжение на входе), а ордината этой точки — минимальное значение стабилизированного напряжения (напряжения на выходе).

При отрицательном анодном напряжении разряд зажигается в точке *B*, в лампе сразу начинается аномальный тлеющий разряд и участок с постоянным напряжением горения отсутствует. Поэтому при такой полярности включения стабилитрон не работоспособен. Для исключения этого участка характеристики можно последовательно с лампой включить полупроводниковый диод, а масштаб участка, соответствующего нормальному тлеющему разряду, можно значительно увеличить.

Заметим, что все три описанные схемы можно использовать не только для сравнения характеристик ламп, их можно использовать и как измерительные. Однако в последнем случае необходимо, во-первых, заранее проградуировать масштабную сетку экрана осциллографа, во-вторых, устранить смещение положения нулевой точки, которое наблюдается в момент зажигания разряда в лампе, или каждый раз перед измерением возвращать нулевую точку в исходное положение. Для возвращения нулевой точки в исходное положение в случае осциллограмм на рис. 23,*а* и *б* в качестве ориентира можно использовать, например, вертикальные участки осциллограмм, соответствующие нулевым значениям тока, а в случае рис. 23,*в* — точку *B*.

Смещение нулевой точки объясняется наличием в усилителях осциллографа переходных конденсаторов. Поэтому для устранения этого смещения измерительная схема должна подключаться непосредственно к пластинам осциллографа или осциллограф должен быть снабжен усилителями постоянного тока (как, например, осциллограф типа С1-54). При отсутствии соответствующего осциллографа схему можно подключить к сеткам ламп выходных каскадов осциллографа, аноды которых обычно связаны с пластинами без переходных конденсаторов. При этом сопротивления резисторов R_1, R_2, R_6 и R_7 придется изменить в соответствии с входными сопротивлениями ламп осциллографа.

Схема для контроля пусковых характеристик триодов

Способ построения пусковых характеристик мы рассмотрим на примере триода МТХ90. Измерительная схема приведена на рис. 24,*а*. Микроамперметр должен иметь ток полного отклонения около 50 *мка* (например, типа М24 или М592). Резисторы R_7 и

R_8 — лабораторные потенциометры. Вместо них можно также использовать переменные резисторы типа СП. Напряжение источника питания должно быть несколько выше, чем напряжение зажигания по аноду $U_{з.а}$ при свободной сетке.

Методика измерений такова. Измерения начинают с определения напряжения зажигания анодного промежутка при отключенной сетке, т. е. при токе сетки $I_с=0$. Плавно увеличивая напряжение, снимаемое с потенциометра R_8, улавливают момент зажигания лампы. Показания вольтметра в момент зажигания принимают за напряжение $U_{з.а}$ при $I_с=0$. Гашение разряда в анодном промежутке производится путем уменьшения напряжения, снимаемого с потенциометра R_8.

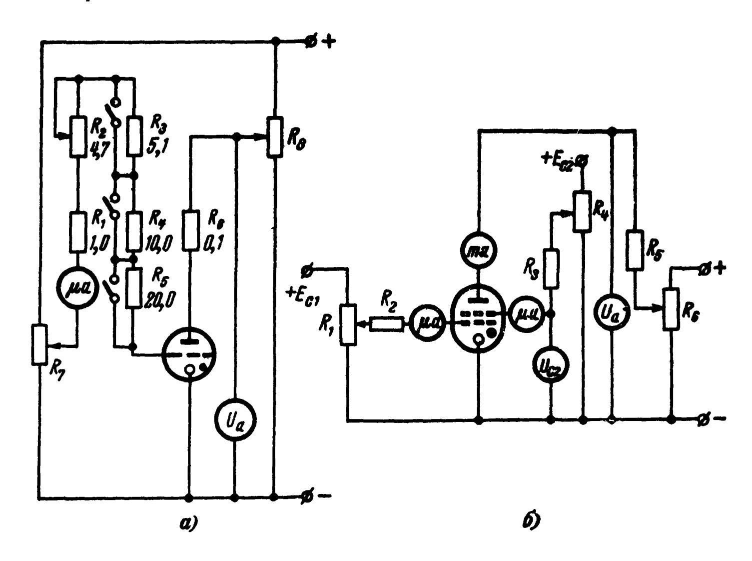


Рис. 24. Схема для снятия пусковых характеристик тиратронов в триодном включении (*а*) и тетродном включении (*б*).

Для уменьшения ошибок при одном и том же $I_с$ напряжение $U_{з.а}$ рекомендуется определять не менее 3 раз и взять среднее арифметическое.

Затем подобным же образом определяют $U_{з.а}$ при сетке, соединенной с катодом, а потом при токах сетки $I_с$, равных 4, 8, 12, ..., 40 *мка*. Эти токи задают с помощью потенциометра R_7 или набора резисторов R_1—R_5, позволяющего получать сопротивления от 1 до 41 *Мом*.

Разумеется, что при изменении тока сетки потенциометром R_7 набор резисторов можно заменить одним постоянным резистором. Применение же набора оправдывается тем, что в этом случае имеется возможность подобрать конкретное сопротивление сеточного резистора, задающего соответствующий ток подготовки.

Как фиксировать момент зажигания разряда по цепи анода, когда в сеточном промежутке разряд уже зажжен? Зажигание раз-

ряда анодного промежутка можно регистрировать по-разному. Его можно определить визуально по свечению газа (при зажигании анодного промежутка газ в колбе начинает светиться по значительно большему объему). Его можно определить по незначительному отклонению стрелки сеточного микроамперметра (зажигание разряда в анодном промежутке оказывает некоторое влияние на электропроводность сеточного промежутка). Его можно определить и по дополнительно включенному в анодную цепь миллиамперметру.

По полученным измерениям строят пусковую характеристику. Лампы с пусковым током более 10 *мка* при анодном напряжении 150 *в* хорошо работают во всех каскадах и являются наилучшими.

Следует иметь в виду, что полученные значения пускового статического тока зажигания не равны току зажигания при работе в импульсном режиме. При статических измерениях начальный разряд распределяется по всему катоду, а при импульсе пусковой ток возникает лишь в одной точке катода.

Снятие пусковых характеристик тетродов

Для исследования пусковых характеристик тиратронов с «потенциальным» управлением собирают схему по рис. 24,*б*. Потенциометром R_1 устанавливают нужный ток подготовки I_{c1} (например, 50 *мка*), потенциометром R_6 — заданное значение анодного напряжения (например, 175 *в*, т. е. чтобы U_a было меньше $U_{з.а}$). Начальное напряжение на второй сетке U_{c2} выбирают потенциометром R_4 в пределах 30—60 *в*, т. е. между левой и правой ветвями пусковой характеристики (рис. 19). Затем постепенно уменьшают U_{c2} до тех пор, пока не зажжется разряд между анодом и второй сеткой (момент зажигания фиксируют по снижению показаний вольтметра U_a). Так получают точку на левой ветви пусковой характеристики (например, точку *A*). Разрывом цепи анода или снижением анодного напряжения гасят разряд и устанавливают снова прежнее U_a и начальное напряжение U_{c2}. После этого постепенно увеличивают U_{c2} до момента зажигания разряда между катодом и анодом. Таким образом, получают точку на правой ветви пусковой характеристики (например, точку *D*).

Затем изменяют анодное напряжение до нового значения, например U_a=200 *в*, и аналогично получают точки на левой и правой ветвях пусковой характеристики. Получив подобным образом 8—10 точек, строят пусковую характеристику при данном токе I_{c1}= =50 *мка*. Уменьшив значение тока подготовки, например, до 20 *мка*, снимают вторую правую ветвь пусковой характеристики при I_{c1}= =20 *мка*. Устанавливая другие значения тока подготовки, получают все семейство пусковых характеристик тиратрона этого типа.

Способы зажигания ламп тлеющего разряда

Чтобы зажечь разряд, необходимо на разрядный промежуток подать напряжение, которое должно быть больше, чем напряжение зажигания этого промежутка $U_з$. Напряжение подают обязательно через резистор, ограничивающий разрядный ток. При малом сопротивлении этого резистора разряд может перейти в дуговой и прибор выйдет из строя. При больших сопротивлениях разряд может не развиться.

Обычно на разрядный промежуток подают напряжение E_0, которое меньше, чем $U_з$ этого промежутка. Для зажигания разряда в диоде при таком режиме на разрядный промежуток подают дополнительный импульс напряжения через разделительный конденсатор $C_а$ (рис. 25,*а*). Тиратроны в большинстве случаев зажигают подачей положительных импульсов на промежуток сетка — катод (рис. 25,*б*). Для тиратронов МТХ90 рекомендуется напряжение смещения около 50 *в* (относительно катода) и амплитуды входного импульса 60 *в*. Реже применяют способы зажигания подачей на анод импульса положительной полярности или на катод импульса отрицательной полярности (рис. 25,*в*).

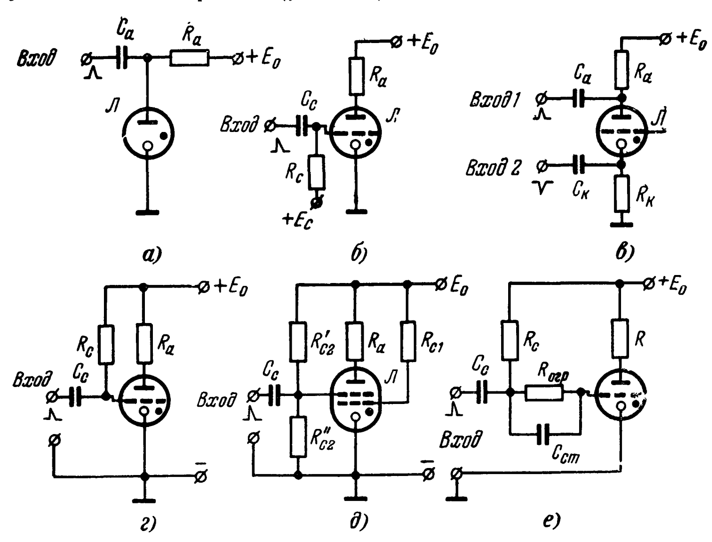


Рис. 25. Схемы зажигания ламп тлеющего разряда.

Зажигание по схемам на рис. 25,*а*, *б*, *в* осуществляется, как правило, импульсами большой длительности. От коротких импульсов лампы не всегда срабатывают.

Время запаздывания зажигания в лампах с неактивированным катодом может доходить до нескольких минут, если подаваемое напряжение незначительно превышает $U_з$. Повышение напряжения уменьшает время зажигания. Однако, чтобы развить разряд от короткого импульса, его амплитуда должна быть большой.

В схемах на рис. 25,*г*, *д*, *е* для устранения запаздывания и уменьшения времени формирования разряда, а также для повышения чувствительности в лампах схемным путем создана начальная ионизация газа. Эта ионизация возбуждается током подготовки в цепи сетки. Величина тока подготовки в схеме по рис. 25,*г* задается резистором R_c. Для МТХ90 его сопротивление берется в пределах 5—50 *Мом*, а у тиратронов ТХ3Б и ТХ4Б в триодном режиме R_c может доходить до 100—200 *Мом.*

На схеме на рис. 25,*д* приведен один из способов зажигания тиратронов с потенциальным управлением, используемых в тетродном режиме. Зажигается тиратрон подачей положительного пускового импульса необходимой амплитуды на вторую сетку. Следует иметь в виду, что если потенциал второй сетки ниже потенциала первой или равен потенциалу катода, то зажечь тиратрон подачей на первую сетку пускового импульса даже значительной амплитуды невозможно.

Емкость конденсатора $C_с$ в схеме на рис. 25,*г* должна быть не больше 50 *пф*. Чрезмерное увеличение ее приводит к паразитной генерации. Процесс самовозбуждения происходит следующим образом. Конденсатор $C_с$ через резистор $R_с$ и выходное сопротивление источника запускающих импульсов, присоединенного к входным зажимам, заряжается от источника питания E_0. При значительной емкости конденсатора $C_с$ (после достижения на нем напряжения $U_{з.с}$), запасенной конденсатором энергии, может оказаться достаточно, чтобы развить в промежутке сетка — катод пусковой ток, зажигающий анодный промежуток. Тиратрон при этом зажжется, конденсатор $C_с$ разрядится и процесс повторится снова.

Для устранения самовозбуждения между конденсатором $C_с$ и сеткой вводится резистор $R_{огр}$ (сопротивлением 0,5—2 *Мом*), который ограничивает ток разряда конденсатора $C_с$ (рис. 25,*е*). Однако при этом чувствительность схемы снижается. Чтобы несколько увеличить чувствительность, можно подключить параллельно $R_{огр}$ конденсатор $C_{ст}$ емкостью 20—50 *пф*.

Способы гашения разряда

Чтобы погасить лампу тлеющего разряда, необходимо либо снизить питающее напряжение до величины, меньшей чем напряжение горения $U_г$, либо разорвать на некоторое время цепь питания. Продолжительность времени прерывания цепи должна быть больше времени деионизации разрядного промежутка (30—1 000 *мксек*).

Погасить разряд в лампе можно подачей гасящего импульса положительной полярности на катод или импульса отрицательной полярности на анод (рис. 26,*а*). Погасить тиратрон воздействием на сетку не удается.

Широко применяется способ гашения по схеме на рис. 26,*б*. В исходном состоянии конденсатор $C_а$ через резистор с большим сопротивлением R_1 заряжен до напряжения источника питания. При

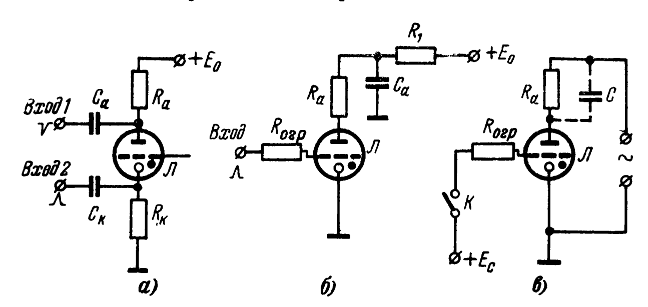


Рис. 26. Схемы гашения разряда в лампах.

появлении пускового импульса лампа зажигается и через нее течет ток разряда конденсатора $C_а$. Так как сопротивление резистора $R_а$ значительно меньше, чем резистора R_1, то напряжение на конденсаторе падает до напряжения гашения разряда. Таким образом, в этой схеме происходит самогашение лампы.

В некоторых устройствах применяется способ гашения за счет питания переменным током, полупериод колебаний которого должен быть больше времени деионизации. При питании анода переменным током или пульсирующим током (схема на рис. 25,*в*) лампа гаснет в моменты, когда напряжение упадет до напряжения гашения. До тех пор пока напряжение $E_с$ подается на сетку, лампа периодически зажигается при каждой положительной полуволне питающего напряжения. При отключении источника $E_с$ ключом $К$ лампа не будет вспыхивать. Если нагрузка $R_а$ имеет индуктивную составляющую (обмотка реле и т. п.), то ее целесообразно шунтировать конденсатором C.

Существуют и другие способы гашения: способ гашения одной лампы другой по схеме с общим резистором в цепи анодов ламп и способ с применением «опрокидывающего» конденсатора. Эти способы широко используются при построении различных импульсных триггерных, распределительных и пересчетных схем.

Выбор ламп и режима их работы

При большом числе типов ламп одинакового назначения возникает трудная задача — какой из многих типов ламп выбрать для своей аппаратуры. Здесь действует много факторов как объективных, так и субъективных.

Обычно каждая лампа имеет свои достоинства и недостатки. Несколько облегчить задачу правильного выбора типа ламп может всестороннее сравнительное изучение таблиц их параметров.

Большое значение имеет выбор правильного режима ламп.

При этом нужно строго руководствоваться заводскими паспортами ламп, в которых указываются основные технические данные и их предельно допустимые эксплуатационные значения. Оптимальные режимы, рекомендуемые заводом-изготовителем, позволяют создавать аппаратуру высокой надежности.

В качестве примера рассмотрим, как по пусковым характеристикам выбирается исходный режим ламп, например тиратрона ТХ3Б в тетродном режиме. Пусть известно напряжение источника питания анодной цепи $E_0=175$ *в*. Необходимо выбрать ток подготовки $I_{с1}$, начальное напряжение на второй сетке $E_{с21}$, затем определить напряжение зажигания $U_{с2з}$ и амплитуду входного импульса.

Выбираем ток подготовки согласно паспорту, например $I_{с1}=$ $=50$ *мка*.

До зажигания разряда по аноду ток анода равен нулю, поэтому напряжение на аноде $U_а=E_0=175$ *в*.

Из пусковой характеристики (рис. 19) следует также, что допустимое минимальное напряжение по второй сетке определяется точкой A. При напряжениях, меньших чем $E_{с2мин}$, лампа будет зажигаться.

Для определения $U_{с2з}$ проводим горизонтальную линию $U_а=$ $=175$ *в*. Точка D пересечения этой прямой с пусковой характеристикой, соответствующей $I_{с1}=50$ *мка*, определяет искомое напря-

жение зажигания $U'_{c2з}=67$ *в* (как проекция точки D на ось $U_{c2з}$). Начальное напряжение смещения E_{c2} выбирается между точками A и D.

Для уменьшения амплитуды входного импульса целесообразно было бы брать E_{c2} ближе к $U'_{c2з}$. Однако, чтобы схема не оказалась чувствительной к внешним помехам, выбираем $E_{c2}=50$ *в* (точка E'). При таком значении E_{c2} для зажигания тиратрона необходимо увеличить напряжение на второй сетке от E_{c2} до $U'_{c2з}$, т. е. $U_{вх.мин}=17$ *в*.

Для надежного зажигания амплитуду входного импульса необходимо брать, учитывая разброс отпирающего сеточного напряжения не менее 35 *в* (если продолжительность входного импульса больше 10 *мксек*).

Для более коротких импульсов амплитуда входного импульса должна быть увеличена еще больше, это определяют по входным динамическим характеристикам. Более подробно методика расчетов изложена в [Л. 8, 12, 13].

Светочувствительность ламп и способы ее устранения

Светочувствительность проявляется у ламп с активированным катодом. Такой катод имеет, например, тиратрон МТХ90. Активация катода этой лампы слоем цезия снижает напряжение зажигания и горения разряда, увеличивает в лампе ток, улучшает чувствительность, уменьшает инерционность ламп и увеличивает интенсивность свечения газа. С другой стороны, за счет этой же активации лампа оказывается чувствительной к свету.

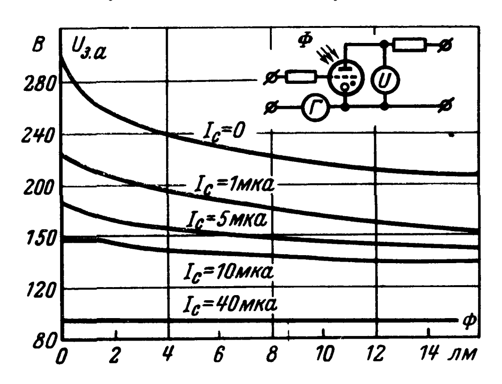


Рис. 27. Статические характеристики светочувствительности лампы МТХ90 при различных токах подготовки.

Светочувствительность лампы МТХ90 можно проиллюстрировать статическими характеристиками (рис. 27), полученными при различных токах сетки I_c. На оси X отложены значения светового потока, подающего перпендикулярно торцу колбы лампы, а на оси Y — напряжение зажигания разрядного промежутка анод — катод.

Из приведенных графиков следует, что светочувствительность в различных режимах не одинакова. Наибольшая светочувствительность проявляется при свободной сетке ($I_c=0$), причем она становится значительной лишь при напряжениях, близких к напряжению зажигания лампы в темноте. При этих завышенных напряжениях у разных экземпляров МТХ90 световой поток в 2 *лм* может понизить напряжение зажигания анодного промежутка на 20—60 *в*. В связи с этим при эксплуатации ламп МТХ90 без тока подготовки анодное напряжение должно быть на 70—100 *в* ниже, чем напряжение зажигания анодного промежутка в темноте. При таком режиме лампа МТХ90 практически не чувствительна к свету, так как для зажигания лампы необходим световой поток до 6 *лм* (такой световой поток можно получить, например, от кинопроекционной лампы силой света 1 000 *св*, расположенной от колбы МТХ90 на расстоянии 12 *см*).

Из приведенных характеристик также следует, что светочувствительность лампы МТХ90 существенно зависит от величины тока сетки. Путем увеличения этого тока подготовки светочувствительность тиратрона можно свести до нуля. Например, при токе подготовки 10 *мка* лампа не реагирует на световой поток до 2 *лм* и только при световом потоке свыше 2 *лм* наблюдается слабое снижение напряжения зажигания. Светочувствительность лампы МТХ90 в этом интервале составляет лишь 2 *в/лм*. При токе подготовки 40 *мка* и выше напряжение зажигания не уменьшается даже при облучении прямыми солнечными лучами. Последнее объясняется тем, что при наличии тока подготовки относительное изменение ионизации газа за счет фотоэмиссии из катода, вызванной внешним светом, становится очень малым.

Таким образом, при наличии тока подготовки 10 *мка* лампа МТХ90 практически не чувствительна к обычному естественному освещению, а для предупреждения ложного зажигания лампы при облучении их прямыми солнечными лучами и другими яркими источниками света ток подготовки должен быть более 40 *мка*.

Питание ламп с холодным катодом

Одно из многих ценных преимуществ газоразрядных ламп с холодным катодом — возможность питания их через обычную электросеть без применения понижающих трансформаторов. Это не только удешевляет аппаратуру на лампах с холодным катодом и делает ее более компактной, но и повышает надежность, а также улучшает эксплуатационные качества устройств.

Однако выпускаемые отечественной промышленностью газоразрядные триоды и тетроды с холодным катодом, а также многие диоды рассчитаны на применение в цепях постоянного тока. Поэтому их питание от электрической сети должно осуществляться через выпрямитель, например, собранный на полупроводниковом диоде (например, типа Д226) и конденсаторе, выполняющем роль фильтра. Такой простой выпрямитель применен, например, в реле времени (рис. 45).

Выпрямленное напряжение можно стабилизировать с помощью газоразрядных стабилитронов (рис. 12 и 44). Например, устройства на лампах МТХ90 могут работать при питании через стабилитроны типов СГ1П и СГ4С. Следует заметить, что лампу МТХ90 можно питать переменным сетевым напряжением. Однако для этого нуж-

но или исключить зажигание обратного разряда при отрицательном полупериоде или уменьшить обратный ток до величины не более 50 *мка*. В первом случае на лампу подают переменное напряжение не более 120 *в* или устраняют зажигание обратного разряда схемным путем (рис. 31). Во втором случае лампу питают через полупроводниковый диод с большим обратным сопротивлением, например через диод Д226.

Может представить практический интерес питание устройств на лампах с холодным катодом от низковольтных источников постоянного тока. В таких случаях напряжение можно повысить с помощью транзисторного преобразователя напряжения. Простая схема такого преобразователя применена в устройстве, схема которого изображена на рис. 61.

При применении транзисторных преобразователей выходное напряжение можно стабилизировать. В ряде случаев необходимо принять меры против наводок от преобразователя на чувствительные лампы. Последнее достигается экранированием.

Тренировка ламп

В новых лампах и лампах, имеющих длительный перерыв в эксплуатации, обычно в течение первых нескольких десятков часов наблюдается изменение параметров. Основная причина этого заключается в том, что в наполняющем газе и на поверхностях электродов содержатся посторонние примеси, которые в настоящее время заводами-изготовителями не контролируются. В таких лампах на поверхностях электродов, особенно активированных, образуются тонкие пленки, которые и вызывают изменение напряжения зажигания. Однако при работе пленки на электродах ламп нарушаются разрядом и напряжение зажигания на длительный срок становится стабильным.

Следует запомнить: для улучшения параметров и их стабилизации необходимо лампы тренировать путем их зажигания и выдерживания в горящем состоянии.

При тренировке аноды и сетки тренируемых тиратронов соединяют с положительным полюсом какого-либо выпрямителя на 200—250 *в*, а катоды через резисторы сопротивлением 50—100 *ком* с его отрицательным полюсом.

Время, необходимое для тренировок, уменьшается с увеличением тока, проходящего через лампу. В частности, при прямом токе 3—4 *ма* параметры лампы МТХ90 стабилизируются через 100—200 *ч*; при токе 7—10 *ма* — через 20—50 *ч*. Лампы ТХ3Б и ТХ4Б обычно тренируют импульсным током. Эта тренировка осуществляется заводом-изготовителем.

Практические советы по монтажу устройств

Работоспособность, стабильность, чувствительность и быстродействие устройств на лампах МТХ90, ТХ18А и ТХ4Б в триодном включении в значительной мере зависят от конструкции и монтажа устройства. Наиболее распространенной ошибкой в конструкции приборов является крепление радиодеталей и ламп на применяемых в обычной аппаратуре гетинаксовых монтажных планках с опорными точками — лепестками. Этого допускать нельзя, так как

в устройствах на лампах с холодным катодом обычно применяют высокоомные резисторы (особенно в цепях сеток) величиной в несколько десятков мегом. Сопротивления этих резисторов соизмеримы с сопротивлениями утечки между лепестками. В результате между различными точками схемы возникают паразитные проводимости, нарушающие нормальную работу схемы.

Для монтажной панели лучше применять электротехнические сорта гетинакса или органическое стекло (плексиглас). Нужно стремиться, чтобы как можно больше точек соединения схемы находилось в воздухе. Сеточные конденсаторы и резисторы необходимо монтировать вплотную к лампам. Другие детали нужно также располагать на близком расстоянии друг от друга.

Для ламп ТХ3Б, ТХ6Г, ТХ8Г и других с электростатическим управлением этих ограничений не существует.

В схемах на лампах с холодным катодом высокоомные (мегомные) резисторы желательно брать типа КИМ или МЛТ, остальные резисторы типа УЛИ. Конденсаторы целесообразно применять типов КПК, КД, КПС и МБМ. В качестве электромагнитных реле можно использовать как поляризованные реле типов РП-4, РП-5, РП-7, так и любые другие с сопротивлением 5—10 *ком*. Если подходящего реле нет, то можно перемотать обмотку любого реле, используя для этого провод диаметром 0,06—0,07 *мм*.

В процессе разработок следует детали подобрать так, чтобы схема работала в максимальном диапазоне изменения питающего напряжения, и затем установить номинальное значение этого напряжения в середине названного диапазона. Например, в ионном сигнализаторе (рис. 47) при отсутствии сигнала на сетке лампа МТХ90 зажигается при напряжении 200 *в*, а при наличии сигнала лампа не зажигается при 110 *в*. Рабочее напряжение, устанавливаемое с помощью потенциометра R_1, целесообразно взять равным 155 *в*.

Глава четвертая

ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАМП С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ

Индикаторы напряжения

Диоды и триоды тлеющего разряда можно применять в качестве индикаторов постоянного напряжения, переменного напряжения низкой и высокой частоты и импульсного напряжения, для построения различных табло и счетных устройств. Необходимым условием применения приборов тлеющего разряда для индикации напряжения является наличие источника питания с напряжением, большим чем напряжение зажигания прибора. Основная схèма включения диода в качестве индикатора напряжения приведена на рис. 28,*а*, а триода — на рис. 28,*б*.

При включении триода сетка соединяется с анодом через резистор R_c сопротивлением 0,02—0,1 *Мом*, ограничивающим ток сетки. Сопротивление резистора R_a находим из выражения

$$R_a = \frac{E_a - U_r}{I_p},$$

где $I_р$ — рабочий ток газоразрядного промежутка, который определяют по паспортным данным.

Из диодов тлеющего разряда в качестве индикаторов обычно применяют неоновые лампы, из триодов — тиратрон типа МТХ90 и ТХ5Б, имеющие яркое торцевое свечение. Так как свечение сосредоточивается у катода, то при работе от источника постоянного тока минус источника питания должен подключаться к катоду, которым в названных лампах служит электрод с большей поверхностью.

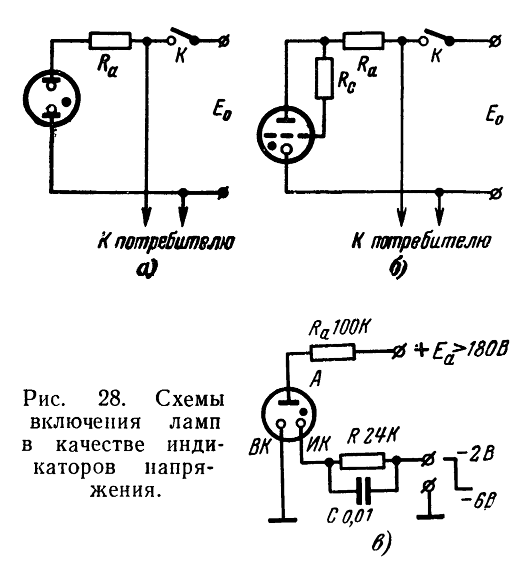


Рис. 28. Схемы включения ламп в качестве индикаторов напряжения.

При работе на переменном токе используются неоновые лампочки с одинаковой площадью электродов. Приборы с разной величиной поверхности электродов можно использовать, если уменьшить ток через прибор. В противном случае при отрицательном потенциале на малом электроде в приборе будет происходить аномальный тлеющий разряд и этот электрод будет распыляться.

На рис. 28,*в* приведена схема включения индикаторной лампы ИН6, предназначенной для индикации малых уровней напряжения. При отсутствии входного сигнала разряд горит по цепи вспомогательного катода *ВК*. Горению разряда на индикаторном катоде *ИК* препятствует резистор *R*. При подаче на индикаторный катод отрицательного напряжения на нем зажигается разряд и со стороны купола наблюдается свечение. При снятии входного сигнала свечение исчезает.

Индикаторный элемент на тиратроне ТХ16Б

В вычислительных машинах, в приборах и устройствах автоматики и телемеханики, построенных с применением логических элементов, часто возникает необходимость в визуальной индикации со-

стояния этих элементов, могущих находиться в одном из двух возможных устойчивых состояний (0 и 1).

На рис. 29,*а* приведена принципиальная схема элемента, индицирующего состояние транзисторного логического элемента комплекса ЭП. На схеме показан основной элемент комплекса «ИЛИ—НЕ». Анодная цепь тиратрона подключена к источнику выпрямленного пульсирующего однополупериодного напряжения промышленной частоты. Управляющая сетка через резистор R_{c1} соединена с коллектором транзистора. Когда транзистор закрыт, потенциал на его

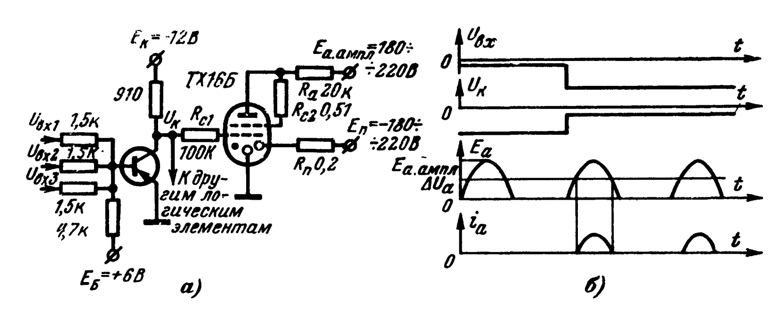


Рис. 29. Схема индикаторного элемента на тиратроне ТХ16Б.

коллекторе, являющийся выходным потенциалом логического элемента, составляет —4,5÷—12 *в* (в зависимости от количества логических элементов, подключенных к его выходу). При таком напряжении на управляющей сетке тиратрон не проводит. Когда транзистор открыт, потенциал на коллекторе равен примерно — 0,25 *в* и каждый полупериод через тиратрон проходят импульсы анодного тока. При этом со стороны купола тиратрона наблюдается свечение. Таким образом, осуществляется индикация состояния транзистора.

Временна́я диаграмма, поясняющая принцип действия индикаторного элемента, изображена на рис. 29,*б*.

Рассмотренная схема индикаторного элемента применима для тех случаев, когда входной сигнал представлен потенциалом, т. е. когда память осуществляется не тиратроном, а индицируемым элементом. Если входной сигнал представлен импульсом напряжения, можно построить элемент, в котором тиратрон ТХ16Б будет обладать памятью. Ряд вариантов таких элементов описан в работе [Л. 13].

Указатель напряжения

Указатель напряжения предназначается для определения наличия напряжения в сети и электроустройствах. На рис. 30 показан прибор типа ИН1, рассчитанный на напряжение от 100 до 380 *в* (действующее значение). Индикаторной лампочкой *1* в нем служит диод тлеющего разряда типа ВМН2, размещенный внутри пластмассового корпуса *5* прибора вместе с ограничительным резистором *2* сопротивлением 1—2,2 *Мом*. Ограничительный резистор соединяется с металлическим стержнем *4*, а второй вывод диода —

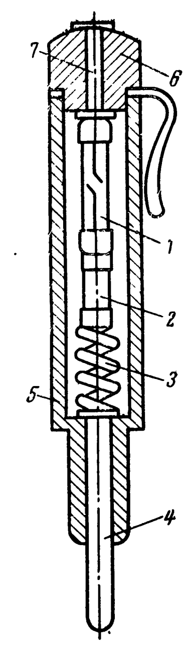


Рис. 30. Указатель напряжения.

с металлическим выводом *7*, укрепленным на головке *6* корпуса прибора. Для обеспечения надежного контакта, а также фиксации положения диода и резистора внутри корпуса служит пружина *3*. При пользовании индикатором необходимо коснуться стержнем *4* проверяемой проводки или соответствующей детали испытуемого электрооборудования, а одним из пальцев руки, держащей индикатор, прикоснуться к выводу *7*.

Зажигание диода и свечение его, наблюдаемое через отверстие в корпусе или непосредственно через прозрачный корпус, свидетельствует о наличии в испытуемом оборудовании напряжения относительно земли.

Особенно удобно пользоваться индикатором, когда необходимо определить, какой из проводов электросети является нулевым и какой фазовым (в сетях с заземленной нейтралью диод светится только при касании фазового провода).

При самостоятельном изготовлении указателя напряжения вместо диода ВМН2 можно применять и другие диоды, а также тиратроны МТХ90 и ТХ5Б. В тиратронах используют только диодный промежуток сетка—катод. Разумеется, конструкцию корпуса в этих случаях придется несколько изменить, а пружину можно заменить соединением схемных элементов через проводники.

Схемы для визуального контроля напряжения

При эксплуатации радиоаппаратуры часто возникает необходимость контроля напряжения питания. Обычно для этой цели применяют вольтметры. Однако в тех случаях, когда достаточно контролировать лишь три уровня напряжения (ниже нормы, норма, больше нормы), вольтметры могут быть заменены устройствами на лампах тлеющего разряда.

В устройстве (рис. 31,*а*) при нормальном сетевом напряжении должна гореть лампа $Л_1$, при повышенном напряжении зажигается и лампа $Л_2$, при пониженном напряжении обе лампы гаснут.

Схему настраивают с помощью автотрансформатора. На вход схемы подают напряжение, соответствующее дозволенному минимуму напряжения сети (например, 200 *в*), и потенциометром R_3 подбирают минимальное (относительно катода) напряжение, при котором происходит зажигание лампы $Л_1$. Затем устанавливают верхний предел контролируемого напряжения (например, 230 *в*) и с помощью потенциометра R_6 добиваются зажигания лампы $Л_2$. После регулировки движки обоих потенциометров фиксируют. Желаемая яркость свечения ламп подбирается с помощью резисторов R_4 и R_7. При напряжении электросети 127 *в* необходимость в делителе напряжения на R_1 и R_2 отпадает.

Схема на рис. 31,*б* имеет такое же назначение, но в ней используется одна лампа МТХ90. При нормальном уровне напряжения разряд осуществляется в промежутке сетка — катод. Этот разряд сопровождается незначительным свечением газа в глубине лампы. При напряжении сверх нормы зажигается разряд в промежутке анод — катод и газ ярко светится практически по всему объему баллона. Настройка схемы осуществляется так. Устанавливают минимум входного напряжения и с помощью потенциометра R_1 подбирают минимальное напряжение, при котором происходит зажигание разряда по цепи сетки. Затем устанавливают максимум напряжения и потенциометром R_4 добиваются зажигания анодного промежутка.

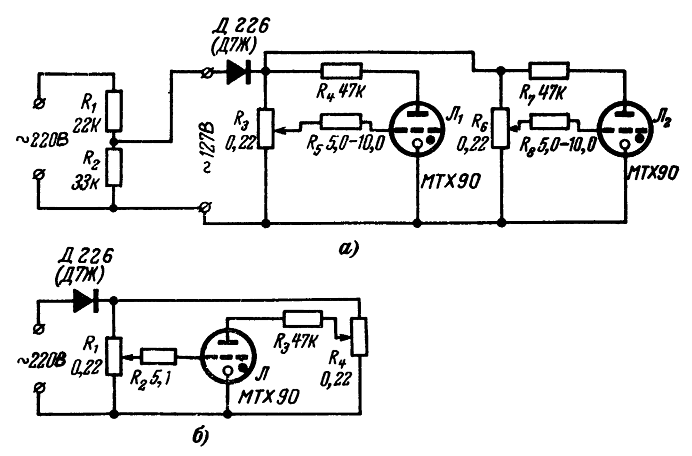


Рис. 31. Схемы для визуального контроля напряжения сети.

Следует отметить, что при включении новых (нетренированных) ламп в эти схемы возможны изменения порога срабатывания. Поэтому через некоторое время необходимо провести подрегулировку схемы. Для улучшения видимости свечения и устранения влияния внешнего освещения лампы МТХ90 полезно затемнить.

Устройство для предохранения приборов от перенапряжения

Устройство (рис. 32) автоматически выключает аппаратуру, если напряжение электросети превысит норму.

Конденсатор *С* заряжается через полупроводниковый диод и ограничительный резистор R_3. Параллельно конденсатору подключен потенциометр R_4, с помощью которого регулируется напряжение, подаваемое на сетку лампы МТХ90.

Выпрямленное напряжение на конденсаторе приблизительно равно амплитудному значению сетевого напряжения, поданному на первый вход, и составляет 1,41 напряжения электросети. С повышением напряжения электросети пропорционально растет напряжение

и на конденсаторе и электродах лампы. Как только напряжение на сетке возрастает до напряжения зажигания промежутка сетка — катод, тиратрон зажигается и разрядным током включается реле *Р* (например, типа РС13 с сопротивлением обмотки 8 000 *ом*). С помощью контактов *1* и *2* реле самоблокируется. Контакты *3, 4* и *5* служат для выключения аппаратуры и включения соответствующей сигнализации. Если напряжение питания понизилось, то аппаратуру можно снова включить нажатием кнопки *Кн*.

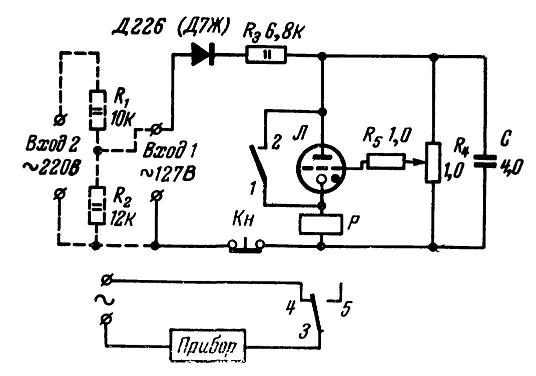


Рис. 32. Схемы устройства для предохранения приборов от перенапряжения.

При настройке устройства на первый вход подают максимальное напряжение и вращением рукоятки потенциометра R_4 добиваются зажигания тиратрона и срабатывания реле.

При напряжении электросети 220 *в* последнее подают на второй вход, т. е. через делитель напряжения, обозначенный пунктиром.

Измерители напряжения

Измеритель напряжения с пределами от 50 до 1 000 *в* представляет собой обычный делитель напряжения (рис. 33,*а*). К переменному резистору R_2 подключена неоновая лампочка, напряжение зажигания которой известно. На оси потенциометра R_2 закрепляют стрелку, которая перемещается по специальной шкале. Вращая ось, отмечают положение стрелки, при котором происходит зажигание лампы. Это позволяет определить, во сколько раз измеряемое напряжение выше напряжения зажигания неоновой лампы. Например, измеряемое напряжение подключено к зажимам «+500 *в*» и «—» и лампочка зажглась в тот момент, когда движок потенциометра R_2 находился в среднем положении. Это показывает, что половина измеряемого напряжения равна напряжению зажигания лампы. Если последнее равно 70 *в*, измеряемое напряжение равно 140 *в*. Для удобства отсчета шкала прибора с помощью образцового вольтметра градуируется в вольтах.

Для измерения напряжений порядка единиц и десятков вольт можно использовать схему (рис. 33,*б*). Отсчет измеряемого напряжения производится по стрелке и шкале потенциометра R_4.

Перед тем, как производить измерения, стрелку устанавливают на нулевое деление этой шкалы, а затем, соединив накоротко входные зажимы («+» и «—»)прибора, вращением ручки потенциометра R_2 добиваются зажигания лампочки. Если теперь ко входным зажимам подключить измеряемое напряжение $U_{изм}$, соблюдая при этом указанную полярность, то неоновая лампочка не загорится. Это объясняется тем, что напряжение $U_{изм}$ противодействует напряжению

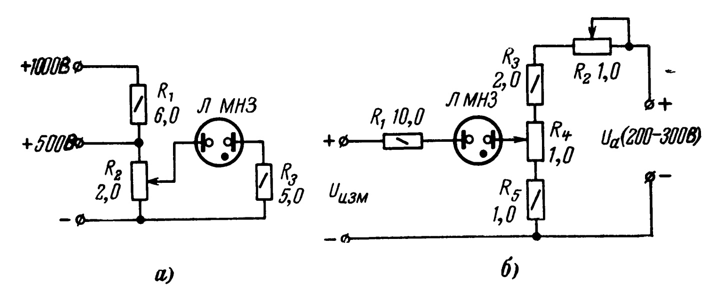


Рис. 33. Измерители напряжения.

внешнего источника и, таким образом, напряжение на электродах лампы снижается. Для того чтобы вновь добиться зажигания лампы, необходимо увеличить приложенное к ней напряжение на величину $U_{изм}$. Это осуществляется вращением ручки потенциометра R_4. По положению стрелки, укрепленной на оси потенциометра R_4, можно определить величину $U_{изм}$.

Газоразрядная лампа в мостовой схеме

В схеме на рис. 34 потенциометр R_3 и резисторы R_1 и R_2 образуют измерительный мост, в диагональ которого включены последовательно соединенные газоразрядная лампа $Л_1$ (например, неоновая лампа) и электромагнитное поляризованное реле P_1. Если потенциометром R_3 установить на лампе $Л_1$ напряжение, несколько меньшее напряжения ее зажигания, то при изменении сопротивления R_1 произойдет разбалансировка моста, в результате чего лампа зажигается и реле срабатывает. Конденсатор C_1 обеспечивает надежное срабатывание реле в момент возникновения разрядного тока лампы.

В приведенной схеме очень удобно, например, в качестве резистора R_1 использовать фоторезистор. В таком случае это устройство превращается в фотореле.

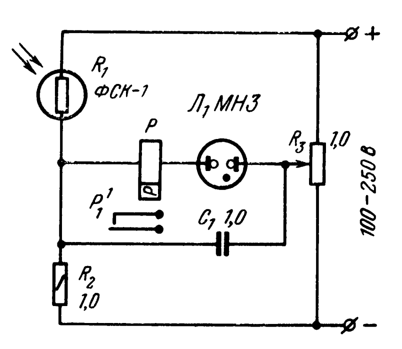


Рис. 34. Включение газоразрядной лампы в мостовую схему.

Схемы управления аналоговым индикатором

Газоразрядный аналоговый индикатор служит для измерения тока, величина которого определяется по длине светящегося столба. Существуют индикаторы, рассчитанные на максимальный ток до 10 *ма* с длиной шкалы 100 *мм*. Напряжения зажигания и горения у этих ламп не более 120 и 106 *в* соответственно.

Простейшая схема включения индикатора была приведена на рис. 11,*б*. При таком включении индикатор служит миллиамперметром постоянного тока с пределом до 10 *ма*. Эта схема позволяет использовать индикатор и в качестве вольтметра постоянного тока, минимальное напряжение которого определяется напряжением зажигания лампы; верхний предел измерения зависит от сопротивления резистора, включенного последовательно с индикатором.

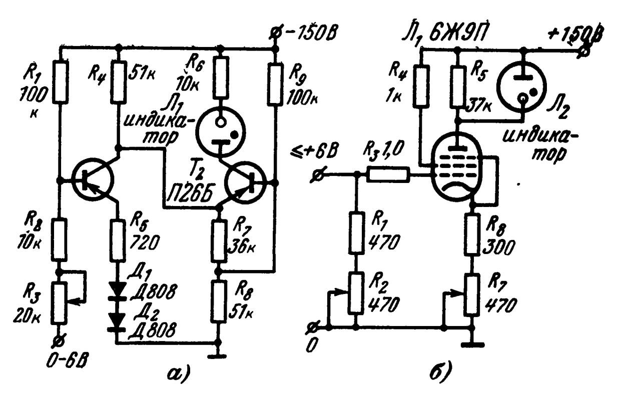


Рис. 35. Схемы управления аналоговым индикатором.

Управление аналоговыми индикаторами может осуществляться и низковольтными электрическими сигналами. Для этого необходимы промежуточные устройства, усиливающие эти сигналы. На рис. 35 приведены простые схемы включения индикатора для работы с генераторным (0—6 *в*) или потенциометрическим (0—2 000 *ом*) датчиком. Такие схемы могут найти применение для контроля различных систем и технологических процессов.

Генератор релаксационных колебаний на диоде

Наиболее простой схемой для получения релаксационных колебаний можно считать схему с газоразрядным диодом, например с неоновой лампой (рис. 36,*а*). При замыкании ключа *К* конденсатор *С* медленно заряжается от батареи и напряжение на нем экспоненциально возрастает. График изменения напряжения на конденсаторе от времени при отключенной лампе изображен кривой *ОА* (рис. 36,*б*).

Газоразрядная лампа, используемая в схеме, осуществляет автоматическое переключение конденсатора с заряда на разряд. Как только напряжение на конденсаторе достигнет величины напряжения

зажигания $U_з$, в лампе возникнет тлеющий разряд, электропроводность лампы резко возрастет и конденсатор начнет разряжаться через лампу и резистор R_1. Напряжение на конденсаторе будет падать, как это показано кривой *1—2*. Когда напряжение на конденсаторе упадет до напряжения гашения разряда в лампе $U_г$, разряд погаснет и лампа опять будет обладать очень большим сопротивлением. При этом цепь разряда конденсатора как бы размыкается и напряжение на конденсаторе будет снова возрастать (кривая *2—3*), пока при напряжении $U_з$ не произойдет очередное зажигание лампы. Далее процесс повторяется.

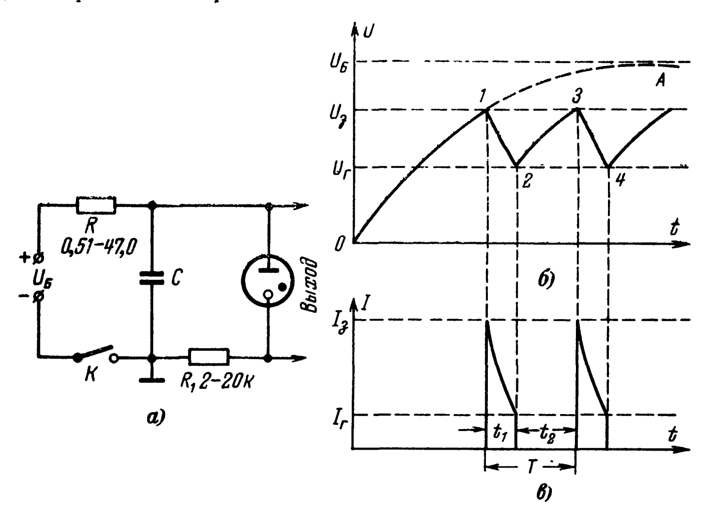


Рис. 36. Релаксационный генератор импульсов на диоде и графики, поясняющие его работу.

В результате напряжение на конденсаторе будет пульсировать по характерному закону, имеющему вид, близкий к пилообразной кривой.

График изменения тока I в цепи лампы приведен на рис. 36,*в*. Импульсы тока наблюдаются только в момент разряда конденсатора через горящую лампу. Во время заряда конденсатора в лампе имеет место ток несамостоятельного разряда, но величина его ничтожно мала, и поэтому на графике он не показан.

Такие периодические колебания, существенно отличающиеся по форме от синусоидальных, называют релаксационными, а устройства, возбуждающие их, называют генераторами релаксационных колебаний или релаксаторами.

Время T (цикл разряд — заряд) называют периодом релаксационных колебаний; $T=t_1+t_2$. Продолжительность времени разряда t_2 определяется формулой

$$t_2 = RC \ln \frac{U_б - U_г}{U_б - U_з}.$$

Время разряда t_1 зависит как от параметров цепи генератора, так и от внутреннего сопротивления лампы. Эта зависимость очень сложная и поэтому здесь не приводится. Практически время t_1 можно регулировать в широком диапазоне и сделать очень малым путем уменьшения сопротивления резистора R_1. Приближенно t_1 можно рассчитать по формуле

$$t_1 = R_1 C \ln \frac{U_з}{U_г}.$$

Величину $1/T$ называют частотой колебаний. Амплитуда колебаний определяется разностью $U_з — U_г$.

Произведение сопротивления зарядного резистора R (в омах) на емкость конденсатора C (в фарадах) называют постоянной времени цепочки RC (в секундах). За время RC ранее незаряженный конденсатор C зарядится через резистор R до напряжения, составляющего 63% напряжения батареи.

Из приведенных формул видно, что форму пилообразной кривой можно изменить подбором элементов схемы и заменой лампы, т. е. изменением величины R, C, R_1, $U_б$ и $U_з$. Однако не при любых значениях этих параметров могут возникнуть колебания.

Что касается формы колебаний, то следует обратить внимание на то, что в начале кривой OA зависимость между напряжением на конденсаторе и временем заряда близка к линейной. Поэтому релаксаторы, используемые для получения напряжения развертки, например для электронного осциллографа, должны работать в пределах этого линейного участка. Для этого необходимо выполнить неравенство $U_з \ll U_б$.

Заметим также, что напряжение можно снимать и с других элементов схемы. Например, напряжение, снимаемое с резистора R_1, будет изменяться пропорционально току, протекающему через него. Так как ток через этот резистор имеет форму разрядных импульсов (рис. 36,*в*), то и напряжение будет импульсным. Амплитуда этих импульсов равна $I_з R_1$.

Схема (рис. 36,*а*) может работать также на стабилитронах любого типа или на многоэлектродных газоразрядных лампах в диодном включении.

Релаксационные генераторы на триодах

Релаксаторы на триодах (рис. 37) позволяют при анодном напряжении 100—150 *в* получить импульсы с амплитудой 50—100 *в* и более мощные, чем те, которые получаются в схеме с диодом. Схемы на триодах позволяют также отделить входные цепи, определяющие частоту, от выходных цепей.

В этих схемах частота задается релаксационным генератором в цепи сетка — катод, а выходной импульс нужной полярности снимается с точки, входящей в цепь анода. Форма и полярность импульсов указаны над соответствующими выходами.

В качестве нагрузки R_3 (рис. 37,*а*), можно включить громкоговоритель или наушник, тогда при каждом срабатывании лампы будет слышен щелчок. Таким путем можно построить электронный метроном. При уменьшении емкости сеточного конденсатора частота повышается и в наушнике будет слышен музыкальный тон. Для под-

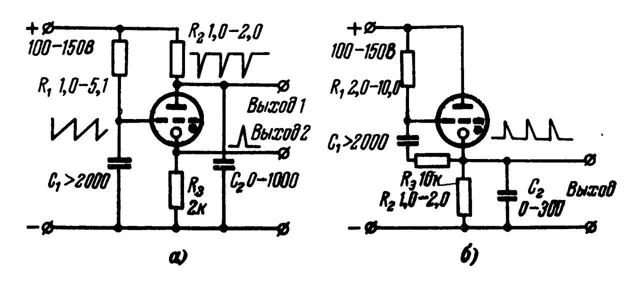


Рис. 37. Релаксационный генератор на триодах.

стройки частоты сеточный зарядный резистор удобно сделать переменным.

Если анодный конденсатор увеличить до 5—10 *мкф*, то в качестве нагрузки можно включать обмотку реле. Оно будет срабатывать при каждом зажигании лампы.

Формирователи — усилители импульсов

В схеме усилителя на МТХ90 (рис. 38,*а*) в отличие от схемы релаксационного генератора (рис. 37,*а*) запуск лампы производится внешним пусковым сигналом, подаваемым на сетку через конденсатор емкостью 10—51 *пф*. Чрезмерное уменьшение переходного конденсатора ухудшает чувствительность формирователей, поскольку при малых емкостях для создания нужного импульса пускового тока требуется большее напряжение пускового импульса. Завышение емкости этого конденсатора приводит к самовозбуждению.

Длительность выходного импульса и частота повторения определяются постоянными времени зарядных и разрядных цепочек. На выходе *1* полярность импульсов противоположна входным, поэтому эту схему можно использовать и в качестве обратителя полярности импульсов.

На рис. 38,*б* приведена схема формирователя — усилителя на тиратроне ТХ4Б, включенном в триодном режиме. При изменении на-

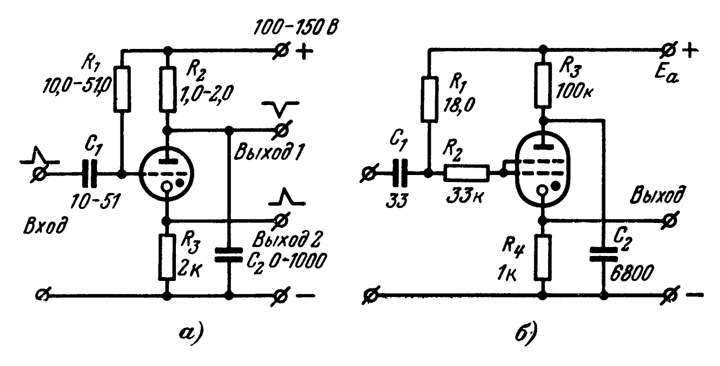


Рис. 38. Схемы формирователей — усилителей импульсов на триодах.

пряжения анодного питания $E_а$ от 160 до 190 *в* и десятипроцентных отклонениях параметров деталей схемы от номинальных значений схема имеет следующие характеристики: амплитуда входных импульсов $U_{вх} \geqslant 10$ *в,* их длительность $\tau_{вх} \geqslant 10$ *мксек;* амплитуда выходных импульсов $U_{вых} \geqslant 30$ *в;* длительность фронта и спада выходных импульсов соответственно $\tau_{ф.вых} \leqslant 3$ *мксек,* $\tau_{сп.вых} \geqslant \geqslant 17$ *мксек.* Максимальная рабочая частота $F_{макс} = 400$ *гц.*

Схема усилителя, построенного на тиратроне ТХ3Б в тетродном режиме, приведена на рис. 39,*а* *. При подключении источника анодного напряжения конденсатор $C_а$ заряжается через резистор до напряжения $E_а$. Последнее берется меньше величины пробивного анодного напряжения. Разряд в промежутке анод — катод возбуждается

* Схемы на рис. 39 и 41 заимствованы из работы [Л. 12].

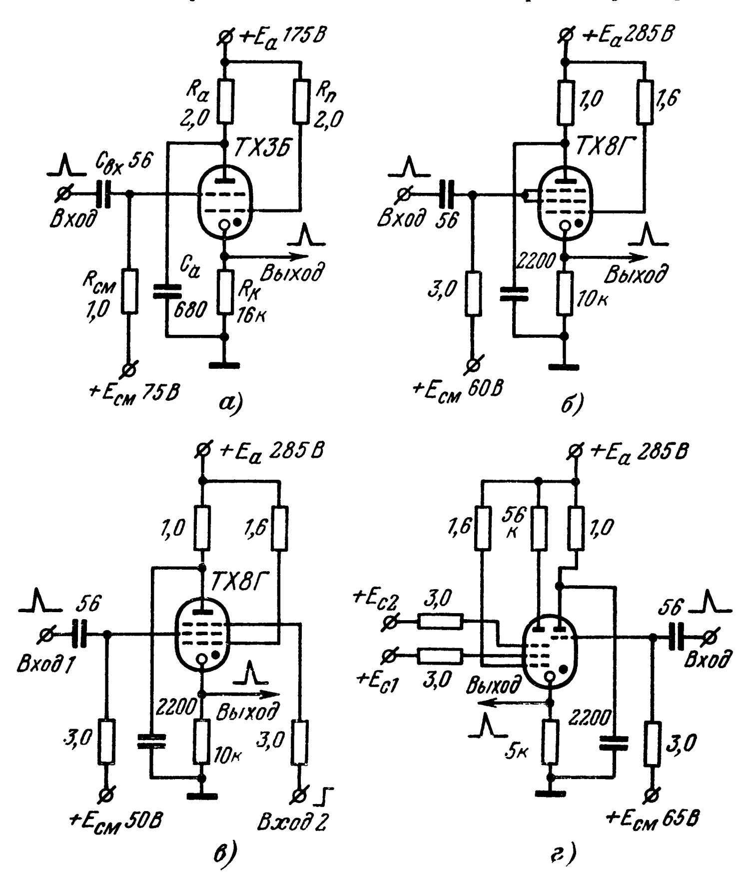


Рис. 39. Схемы формирователей — усилителей импульсов на тиратронах с электростатическим управлением зажиганием.

только при поступлении на управляющую сетку импульса через конденсатор $C_{вх}$. Амплитуды импульсов на уровне 5 *мксек*: на входе 20 *в*, на выходе 50 *в*.

На рис. 39,*б* приведена схема усилителя на тиратроне ТХ8Г в тетродном режиме (первая и вторая управляющие сетки объединены). Амплитуды импульсов на уровне 10 *мксек*: на входе 65 *в*, на выходе 110 *в*.

В схеме (рис. 39,*в*) в отличие от описанных для возбуждения тиратрона после окончания заряда конденсатора $C_а$ необходимо наличие двух сигналов: импульсного на входе первой управляющей сетки с амплитудой 65 *в* и потенциального на входе второй управляющей сетки на уровне 110—180 *в*. Продолжительность потенциального импульса $\geqslant$10 *мксек*.

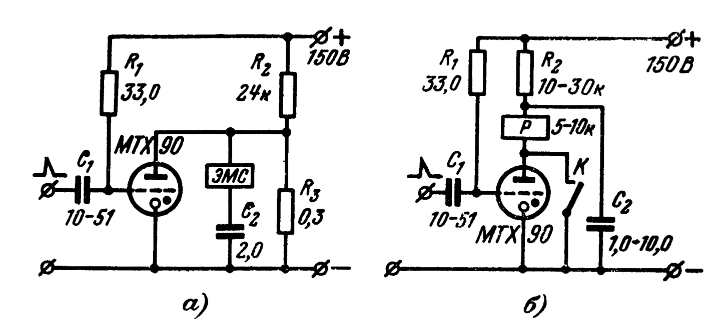


Рис. 40. Схемы формирователей — усилителей импульсов для управления электромагнитным реле.

На рис. 39,*г* приведена схема на тиратроне ТХ6Г с использованием промежутка считывания. В этом случае выходной импульс формируется лишь при наличии разряда в промежутке анод записи — катод. Амплитуды импульсов на уровне 10 *мксек*: на входе 70 *в*, на выходе 100 *в*.

Формирователь на тиратроне МТХ90 (рис. 40,*а*) предназначен для управления электромеханическим счетчиком (ЭМС), например типа СБ-1. Счетчик срабатывает при зажигании ламп за счет разряда конденсатора через его обмотку.

В схеме на рис. 40,*б* формируется импульс для включения электромагнитного реле *Р*. Лампа срабатывает лишь на время притягивания якоря реле, после чего реле блокируется своим контактом *К* и при достаточно малом анодном сопротивлении остается в притянутом состоянии. Поскольку ток отпускания реле значительно меньше тока срабатывания, резистор, ограничивающий ток, при наличии анодного конденсатора C_2 может быть несколько увеличен, что уменьшает мощность, потребляемую схемой.

При использовании бесконтактных элементов часто возникает необходимость согласования их с контактными приборами, работа которых сопровождается дребезгом контактов. В большинстве случаев простое подключение контакта ко входу бесконтактного элемента с целью управления его состоянием невозможно, так как дребезг может вызвать сбои в работе схемы. Необходимы специальные меры

защиты от сбоев, которые обычно состоят в использовании специального входного элемента, нечувствительного к дребезгу контактов.

Таким входным элементом может быть схема формирователя, которая в отличие от усилителя работает в режиме принудительного гашения, для чего анодная нагрузка $R_а$ выбирается такой, чтобы анодный ток был значительно больше критического значения.

Принцип работы такого формирователя, построенного на тиратроне ТХ8Г в тетродном режиме (рис. 41,*а*), состоит в следующем. Контакт электромеханического элемента *К* соединяется последовательно с анодной цепью формирователя и, таким образом, может коммутировать анодное напряжение. Величина $E_а$ выбирается с таким расчетом, что при замкнутом контакте и определенном напряжении смещения тиратрон находился в проводящем состоянии. После подключения анодного напряжения благодаря наличию конденсатора $C_а$ напряжение на аноде тиратрона нарастает по экспоненциальному закону с постоянной времени $R_аC_а$. При этом кратковременные отключения напряжения, происходящие в результате дребезга контакта, практически не изменяют потенциал конденсатора $C_а$, так как его разряд во время размыкания контакта происходит через большое сопротивление утечки. Как только напряжение на конденсаторе $C_а$ и, следовательно, на аноде тиратрона достигнет величины, достаточной для возбуждения разряда при данном напряжении смещения, тиратрон зажигается. После этого начинается процесс разряда конденсатора $C_а$, в результате которого на катоде тиратрона формируется выходной импульс с крутым фронтом и экспоненциальным спадом.

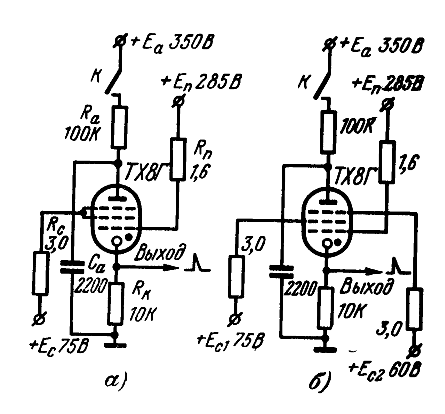


Рис. 41. Формирователи импульсов на тиратронах ТХ8Г.

После окончания разряда конденсатора на нем и, следовательно, на аноде тиратрона устанавливается напряжение

$$U_с = U_а = \frac{E_а - U_г}{R_а + R_к} R_к + U_г.$$

Разряд в тиратроне прекращается после отключения источника питания, т. е. после размыкания контакта. Таким образом, схема формирователя нечувствительна к дребезгу контакта в течение времени заряда анодного конденсатора и выдает один импульс при каждом срабатывании контакта.

Формирователь может быть использован также для формирования из напряжения синусоидальной формы остроконечных импульсов, предназначенных для управления тиратронными элементами. В таком применении на анод тиратрона подается пульсирующее напряжение. Как и в ранее описанной схеме, тиратрон зажигается, ког-

да напряжение на конденсаторе достигнет величины, достаточной для возбуждения разряда в промежутке анод — катод. Гашение тиратрона происходит при уменьшении напряжения на его аноде до величины, несколько меньшей чем $U_г$. Следовательно, каждому периоду пульсирующего напряжения соответствует один выходной импульс формирователя. Амплитуда выходного импульса на уровне 10 *мксек* составляет 100 *в*.

Схема формирователя, построенного на тиратроне ТХ8Г и изображенного на рис. 41,*б*, практически не отличается от описанной. Однако наличие двух управляющих сеток представляет возможность использования одной из них в качестве дополнительного управляющего электрода.

Кадровая развертка на лампах МТХ90

На рис. 42 приведена схема узла кадровой развертки с фазовой автоподстройкой. В этом устройстве лампы МТХ90 работают в фазовом детекторе и в задающем генераторе.

В анодной цепи триода 6Н1П ($Л_1$) амплитудного селектора включен трансформатор $Тр_1$, применяющийся в системе АПЧ и Ф телевизора «Темп-6», где выделяются импульсы для автоподстройки строк. Строчный синхроимпульс дифференцируется, и импульсы удвоенной строчной частоты в положительной полярности выделяются с помощью диода $Д_1$. Через переходный конденсатор C_2 врезки подаются на колебательный контур L_1C_3, предназначенный для селекции шести врезок и защиты от импульсных помех различного происхождения (контур настроен на частоту 31 250 *гц*).

Далее, с помощью диода $Д_2$ и конденсатора C_4 из врезок формируется синхроимпульс, который через конденсатор C_5 подается на сетку тиратрона МТХ90 ($Л_2$) и отпирает его. Этот тиратрон ра-

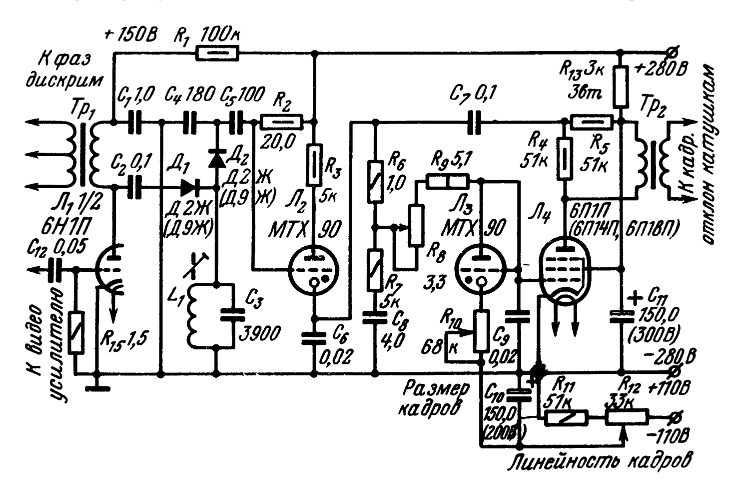


Рис. 42. Схема узла кадровой развертки с фазовой автоподстройкой.

ботает в каскаде фазового детектора АПЧ и Ф. Анод тиратрона $Л_2$ подключен к плюсу высокого напряжения через резистор R_3. Необходимо заметить, что резистор, установленный в цепи анода (или катода) тиратрона, позволяет в значительной степени регулировать силу тока в импульсе. Минимальное сопротивление этого резистора должно быть не менее 200—300 *ом*. Без ограничительного резистора сила тока в импульсе тиратрона резко возрастает и лампа быстро выходит из строя.

Катод тиратрона $Л_2$ через конденсаторы C_6C_7 соединен с цепями, в которых формируется напряжение, питающее и фазирующее задающий генератор. Величина этого напряжения обусловливается током тиратрона $Л_2$, а последний в свою очередь (при выбранных емкостях конденсаторов и сопротивлениях резисторов) зависит от фазовых соотношений между импульсами синхронизации и импульсами развертки, которые определяют величину заряда и разряд конденсатора C_6 через тиратрон $Л_2$ и через конденсатор C_7.

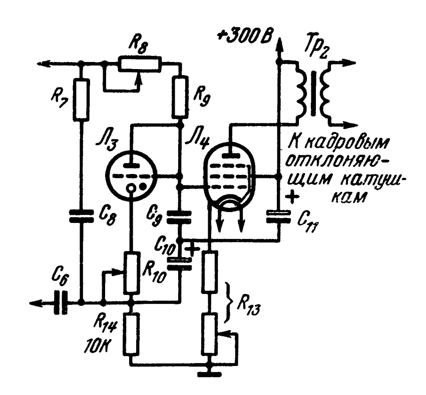


Рис. 43. Второй вариант узла кадровой развертки.

Если импульсы развертки начинают отставать от импульсов синхронизации, то разрядный ток тиратрона $Л_2$ увеличивается и напряжение на конденсаторе C_8 возрастает, что приводит к повышению частоты задающего генератора. Наоборот, напряжение на конденсаторе C_8 уменьшается, когда импульсы развертки «обгоняют» импульсы синхронизации. Таким образом, осуществляется автоматическое фазирование импульсов при стабильной частоте и захват частоты задающего генератора в случае срыва. Фазирующее напряжение фильтруется с помощью резистора R_6 и конденсатора C_8 и через резисторы R_8R_9 используется для заряда конденсатора C_9, на котором формируется пилообразное напряжение кадровой развертки. Резистор R_7 небольшого сопротивления, включенный последовательно с конденсатором C_8, служит для устранения раскачивания кадра после захвата частоты.

Для разряда конденсатора C_9 до определенного напряжения используется тиратрон МТХ90 ($Л_3$), включенный диодом. Резистор R_{10} в цепи катода $Л_3$ служит для регулировки амплитуды импульсов

развертки (размера кадра). Задающий генератор работает в автоколебательном режиме. Связь его с управляющей сеткой лампы выходного каскада $Л_4$ гальваническая. Для обеспечения режима работы лампы $Л_4$ на катод тиратрона $Л_3$ подается напряжение, равное примерно 85 *в*, снимаемое с дополнительного источника отрицательного напряжения — 110 *в*.

Для повышения стабильности работы питание $Л_4$ осуществлено через развязывающую цепь (резистор R_{13} и конденсатор C_{11}), включенную до фильтра выпрямителя. Выходной трансформатор $Тр_2$ — унифицированный типа ТВК. Развертка потребляет от источника анодного питания ток 22—25 *ма*.

В том случае, когда выпрямитель телевизора дает напряжение не менее 300 *в*, питание блока развертки можно осуществить без дополнительного источника отрицательного напряжения. Для этого резистор R_{13} переносится в катодную цепь лампы $Л_4$ так, как показано на схеме рис. 43. Величина падения напряжения в катодной цепи $Л_4$ должна быть равной примерно 80—90 *в*. Катодный резистор не блокируется конденсатором. Фазовый детектор присоединяется к катоду $Л_4$ через конденсатор C_{10}.

МТХ90 чувствителен к внешним полям, и его нужно экранировать или укреплять на значительном удалении от блока строчной развертки. Задающий генератор МТХ90 работает более стабильно в режиме больших амплитуд.

Реле времени

Реле времени являются устройствами, позволяющими получить заданную временную задержку. Такие устройства применяются, например, для получения определенной выдержки при фотопечати. В большинстве схем реле времени величина задержки определяется временем заряда конденсатора C через резистор R от источника постоянного напряжения $U_б$. Заряд конденсатора прекращается, когда напряжение на нем достигает величины $U_з$. Время задержки определяется формулой

$$t = RC \ln \frac{U_б}{U_б - U_з}.$$

Время задержки обычно задают сопротивлением зарядного резистора. С этой целью применяют резисторы с переменным сопротивлением или группы резисторов с постоянным сопротивлением, суммарная величина которых изменяется при помощи переключателей. Зная напряжение зажигания газоразрядной лампы, емкость конденсатора, напряжение источника питания и необходимое время задержки, можно заранее по приведенной формуле рассчитать величину зарядного резистора.

Однако более удобно подбирать эти резисторы практически. Так как время задержки реле находится в прямо пропорциональной зависимости от сопротивления резистора, то достаточно замерить время t_1 при одном известном сопротивлении резистора (например, R_1). Остальные сопротивления резисторов легко подсчитать из соотношения

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{t_1}{t_2}.$$

Необходимо помнить, что лампы с холодным катодом для зажигания требуют некоторого предварительного тока несамостоятельного разряда $I_{н.р}$ порядка долей или нескольких микроампер. Это накладывает ограничения как на величину зарядного резистора, так и на соответствующее максимальное время задержки.

Максимальное сопротивление зарядного резистора определяется равенством

$$R_{макс} = \frac{U_б - U_з}{I_{н.р}}.$$

Из газоразрядных ламп наиболее широкое применение в реле времени находят неоновые лампы. Кроме них, могут быть использованы стабилитроны и тиратроны.

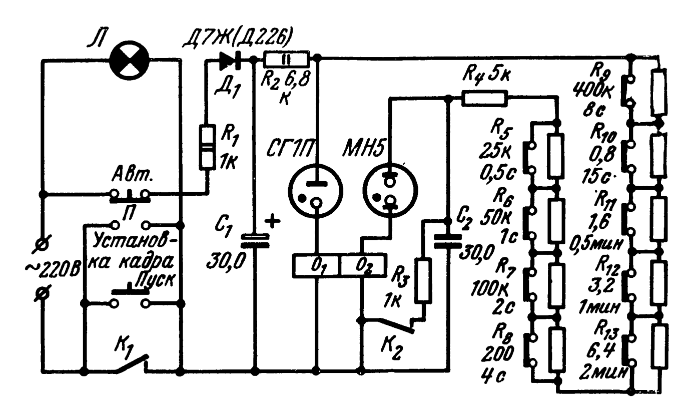


Рис. 44. Реле времени на газоразрядном диоде со стабилизированным питанием.

Реле времени на газоразрядном диоде (рис. 44). Описываемое реле времени предназначено для целей автоматизации процесса печати фотографий.

При нажатии кнопки *Пуск* напряжение сети 220 *в* подается на лампу увеличителя *Л*, а также через резистор R_1 и полупроводниковый диод $Д_1$ на конденсатор C_1. Выпрямленное напряжение с конденсатора C_1 подается через ограничительный резистор R_2 и газоразрядный стабилизатор напряжения СГ1П на обмотку O_1 двухобмоточного электромагнитного реле с током срабатывания до 15 *ма*. При этом реле срабатывает и контакт K_1 замыкается, а нормально замкнутый контакт K_2 размыкается. Теперь при отпускании кнопки *Пуск* лампа увеличителя и реле останутся включенными, так как пусковая кнопка блокируется контактом K_1.

После размыкания контакта K_2 конденсатор C_2 начинает заряжаться через набор резисторов R_4—R_{13}. Через некоторое время, определяемое суммарным сопротивлением включенных резисторов, напряжение на конденсаторе достигнет величины напряжения зажигания неоновой лампы МН5. При зажигании неоновой лампы во второй обмотке O_2 (того же самого электромагнитного реле) возникает

разрядный импульс тока. Так как обмотка O_2 включена «навстречу» обмотке O_1, то магнитный поток в сердечнике реле ослабнет и реле отпустит.

При этом контакт K_1 разомкнется и выключит как лампу увеличителя, так и все устройство. Замыкание контакта K_2 обеспечивает съем через резистор R_3 зарядов, оставшихся на конденсаторе C_2 после гашения неоновой лампы.

При нажатии кнопки *Пуск* процесс повторяется.

Применение лампы СГ1П стабилизирует выпрямленное напряжение, подаваемое на конденсатор C_1. Вместо этого стабилитрона можно также использовать стабилитроны СГ5Б и СГ4С. Неоновую лампу МН5 можно тоже заменить любым газоразрядным диодом

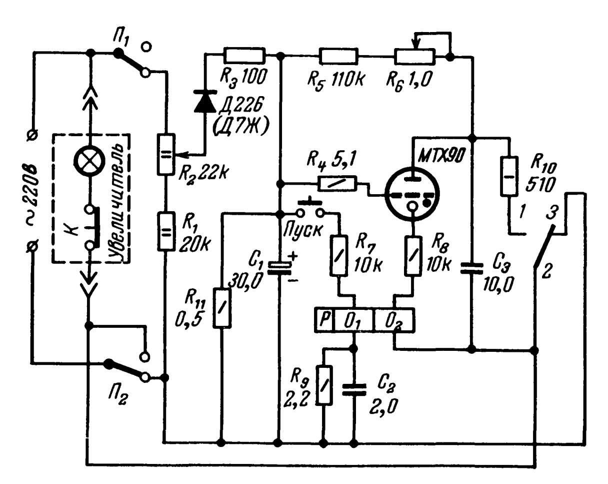


Рис. 45. Реле времени с подвижной шкалой.

с напряжением зажигания меньше 150 *в*. При этом следует учесть, что время, указанное на схеме, ориентировочно, так как из-за разброса напряжений зажигания неоновых ламп оно может значительно измениться.

Переключение выдержек в этой схеме осуществляется девятью выключателями. С помощью их можно установить любую экспозицию от 0,5 *сек* до 4 *мин* через 0,5 *сек*. В качестве выключателей можно применять тумблеры или кнопочные выключатели с западающими кнопками.

Установка кадра производится при переводе тумблера *П* в положение *Установка кадра*.

Реле времени с подвижной шкалой (рис. 45). Такое реле очень удобно использовать для фотопечати. Рассмотрим его работу.

При нажатии кнопки *Пуск* начинает заряжаться конденсатор C_2 через ограничительный резистор R_7 и обмотку O_1 реле *Р*. Этот ток вызывает срабатывание поляризованного реле *Р* типа РП-4, и подвижный его контакт *2* замыкается с контактом *3*. При этом лампа увеличителя подключается к электросети, а нижняя по схеме обкладка конденсатора C_3 соединяется с минусом конденсатора C_1.

Конденсатор C_3 начинает заряжаться через резисторы R_5 и R_6. Пока происходит заряд, лампа увеличителя горит. Как только конденсатор C_3 зарядится до напряжения зажигания разрядного промежутка анод — катод тиратрона МТХ90, последний зажигается и конденсатор C_3 начинает разряжаться через тиратрон, резистор R_8 и вторую обмотку O_2 того же поляризованного реле. Разрядным импульсом подвижный контакт *2* перебрасывается к контакту *1*. Лампа увеличителя выключается, а конденсатор C_3 быстро и полностью разряжается через резистор R_{10}. Устройство готово к следующему экспонированию. При повторном нажатии кнопки *Пуск* процесс повторяется.

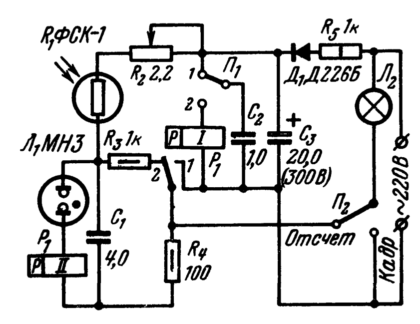


Рис. 46. Реле времени для фотопечати с автоматической установкой экспозиции.

Продолжительность нажатия кнопки *Пуск* не оказывает влияния на величину выдержки, что очень важно при малых выдержках.

Время экспонирования задается с помощью переменного резистора R_6 и устанавливается по шкале, имеющей десять делений. Первое деление соответствует положению рукоятки R_6, при котором этот резистор замкнут накоротко. Цена деления шкалы регулируется потенциометром R_2, с помощью которого одновременно изменяется как напряжение $U_б$ на конденсаторе C_1, так и напряжение зажигания $U_{з.а}$ разрядного промежутка анод — катод тиратрона. При минимальном напряжении, снимаемом с R_2, равном 105 *в* (ползунок находится в нижнем по схеме положении), цена одного деления шкалы составляет 4 *сек* и с помощью резистора R_6 можно задать время от 4 до 40 *сек*. При максимальном значении напряжения, снимаемого с потенциометра R_2 (ползунок находится в верхнем по схеме положении), равном 220 *в*, цена одного деления уменьшается в 10 раз и составляет 0,4 *сек*. При других положениях ползунка потенциометра R_2 цена деления принимает промежуточные значения.

Реле с автоматической установкой экспозиции (рис. 46). Если тумблер $П_1$ на короткое время перевести в положение *2*, то конденсатор C_2, зарядившийся до этого от выпрямителя на диоде $Д_1$, будет разряжаться через обмотку *I* двухобмоточного поляризованного реле РП-4. При этом якорь реле перебрасывается в положение *1* и замыкает цепь питания лампы $Л_2$ фотоувеличителя. Одновременно с включением этой лампы начинает заряжаться конденсатор C_1 через фоторезистор R_1 и резистор R_2.

Фоторезистор размещен на доске фотоувеличителя. Чем плотнее негатив, тем меньше освещенность фоторезистора и, следовательно, медленнее заряжается конденсатор C_1. Когда напряжение на конденсаторе C_1 достигнет 50—60 *в*, зажигается неоновая лампа $Л_1$ и конденсатор разряжается через нее и обмотку *II* реле. Реле срабатывает, его якорь перекидывается в положение *2* и отключает лампу фотоувеличителя.

Установку кадра и наводку на резкость производят при переводе переключателя $П_2$ в положение *Кадр.*

Небольшое число деталей позволяет смонтировать прибор под доской фотоувеличителя. Однако прибор удобнее смонтировать в виде приставки к фотоувеличителю с выносным фоторезистором, чтобы иметь возможность перемещать его по полю кадра.

Ионные сигнализаторы

Применение этих устройств разнообразно. Сигнализаторы могут применяться при автоматизации контроля и выполнять роль усилителя для контактных датчиков. Область применения их может быть значительно расширена за счет того, что устройство может срабатывать от прикосновения к сетке лампы МТХ90, например, пальцем.

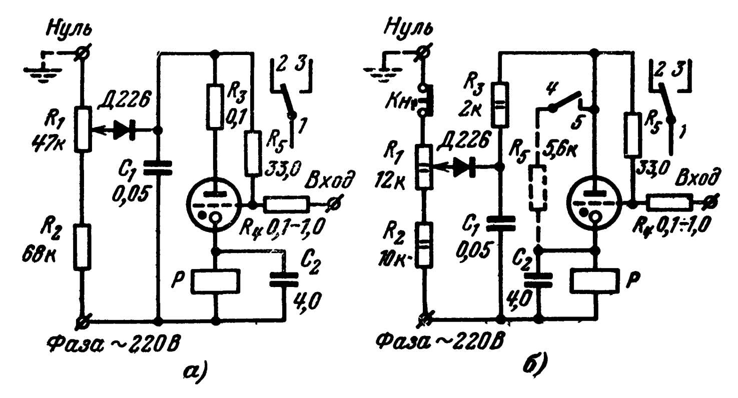


Рис. 47. Схемы ионных сигнализаторов.

Принципиальные схемы сигнализаторов приведены на рис. 47. С помощью делителя напряжения на резисторах R_1R_2 на разрядный промежуток анод — катод лампы МТХ90 подается через диод Д226 переменное напряжение порядка 120 *в*. При этом напряжении разряд в лампе не зажигается.

Лампа зажигается, и реле срабатывает только в момент замыкания сетки с анодом через резистор R_4. При устранении этого замыкания реле отпускает. Если сигнализатор предназначается для срабатывания от прикосновений руки человека к какому-либо проводящему предмету (ограничительной площадке, сетке и т. п.), то он должен быть подключен так, чтобы фазовый провод сети переменного тока оказался подключенным к катодной, а нулевой провод сети (обычно заземленный) — к анодной цепи сигнализатора. Вход сигнализатора нужно соединить с проводящим предметом.

Если теперь коснуться рукой этого предмета, то через его тело на сетку тиратрона поступит дополнительный потенциал и тиратрон зажжется (в положительный полупериод напряжения сети). При этом сработает реле и своими контактами включит сигнализацию (световую, звуковую) или даст команду другому исполнительному устройству (например, выключит электродвигатель станка, электропилы и т. п.).

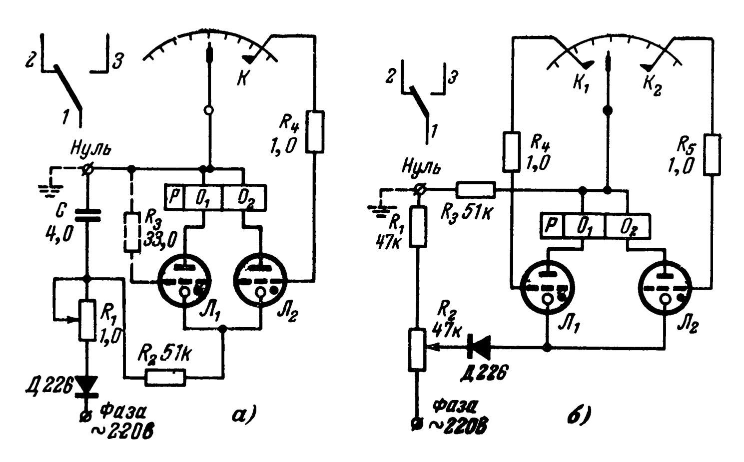


Рис. 48. Тиратроны реле для автоматического контроля и регулирования.

В качестве электромагнитных реле в схеме на рис. 47,*а* можно использовать поляризованные реле типов РП-5, РП-7, РП-4. Реле РП-4 применяют в том случае, если необходимо после срабатывания сигнализацию оставить включенной. В схеме на рис. 47,*б* применено электромагнитное реле типа РС-13 (сопротивление обмотки постоянному току 8 000 *ом*). При поступлении сигнала на сетку лампы реле срабатывает. При отсутствии сигнала реле размыкает цепь сигнализации. Если необходимо сигнализацию продлить, то с помощью контактов *4* и *5* реле блокируют через дополнительный резистор R_5. Лампа МТХ90 при этом гаснет. Для выключения сигнализации достаточно нажать кнопку *Кн*.

Тиратронные реле для автоматического контроля и регулирования

Устройство (рис. 48,*а*) предназначено для автоматического контроля одного предела параметра, измеряемого стрелочным прибором. Электромагнитное двухобмоточное реле подключается к анодам тиратронов $Л_1$ и $Л_2$. При достижении параметром предела на сетку тиратрона $Л_2$ подается маломощный сигнал через стрелку прибора и контакт-упор, установленный на соответствующем делении шкалы. Положительное напряжение подается на корпус измерительного прибора, а оттуда на стрелку. Контакт *К* надежно изолируют от электропроводящего корпуса прибора. Высокие требования к контактной паре стрелка — контакт *К* не предъявляются, так как напряжение между стрелкой и контактом относительно велико, а ток через контакт мал (порядка 10^{-5} *а*).

Лампа $Л_1$ должна иметь меньшее напряжение зажигания, чем лампа $Л_2$. Если окажется, что $U_{з.а}$ у ламп мало отличаются, то напряжение зажигания $Л_1$ уменьшают включнием резистора (показано пунктиром).

Пока стрелка измерительного прибора не соприкасается с контактом *К*, конденсатор *С* периодически заряжается и разряжается

через лампу $Л_1$, а положение подвижного контакта *1* поляризованного реле *Р* остается неизменным. Свечение лампы $Л_1$ указывает, что устройство работает нормально и регулируемая величина находится в норме. Лампа $Л_2$ при этом зажигаться не будет, так как ее напряжение, как уже было оговорено, больше напряжения зажигания лампы $Л_1$.

Как только стрелка прибора коснется контакта *К*, начнет зажигаться только лампа $Л_2$. Так как разряд конденсатора теперь происходит через обмотку $О_2$ реле *Р*, то контакт *1* замыкается с контактом *3* и этим подается соответствующая команда исполнительному механизму.

При отходе стрелки от контакта *К* начинает работать лампа $Л_1$ и контакты *1* и *2* снова замыкаются. Частота вспышек ламп, а также время задержки реле регулируются сопротивлением резистора R_1. Чем оно меньше, тем чаще будут вспышки.

При включении устройства в электросеть необходимо соблюдать фазировку, указанную на схеме. Это объясняется тем, что у многих измерительных приборов корпус, а следовательно, и стрелки оказываются заземленными. Однако если корпус прибора надежно изолирован, то на него и анодную шину питания ламп более целесообразно подключать незаземленный провод сети (фазу).

В схеме применено поляризованное реле РП-4 с сопротивлением обмотки постоянному току, равным 290 *ом*, и током срабатывания 0,4—1,6 *ма*.

На рис. 48,*б* показана схема для автоматического регулирования также путем контактного съема показаний с измерительных приборов со стрелкой.

С помощью делителя на резисторах R_1 и R_2 на тиратрон МТХ90 через полупроводниковый диод Д226 подается переменное напряжение, амплитудное значение которого меньше напряжения зажигания промежутка анод — катод при нормальном подключении лампы, но больше напряжения зажигания при обратном подключении. Таким образом, при обратном полупериоде переменного напряжения обе лампы слабо горят. Однако на токи этих разрядов реле не реагирует. Это объясняется тем, что, во-первых, величина этих токов мала и, во-вторых, обмотки реле включены навстречу друг другу и магнитные поля токов компенсируются. Свечение же газа при этом полупериоде сигнализирует о том, что устройство работоспособно

Реле срабатывает только в моменты, когда стрелка измерительного прибора замыкается с одним из контактов $К_1$ или $К_2$. Например, при отклонении стрелки прибора влево до контакта $К_1$ в лампе $Л_1$ зажигается разряд и при положительном полупериоде. Ток этого разряда, протекающий только через обмотку $О_1$, перебросит якорь реле к соответствующему контакту и этим включит (или выключит) исполнительный механизм.

В этом положении якорь реле будет находиться и после размыкания цепи сетки лампы $Л_1$ и будет возвращен в исходное положение только после отклонения стрелки до контакта $К_2$.

Устройство для включения и выключения секундомера

Устройство (рис. 49) позволяет автоматизировать процесс измерения времени электрическим секундомером, например, в школьных опытах по механике. Устройство содержит два тиратрона

МТХ90, в анодные цепи которых включены обмотки двухпозиционного поляризованного реле РП-4. Тиратроны питаются от конденсаторов C_1 и C_2, которые заряжаются от сети через полупроводниковый диод Д7Ж и резисторы R_1 и R_2. Сетки тиратронов выводятся через резисторы R_5 и R_6 на зажимы и соединяются с помощью гибких проводников с металлическими контактами K_1 и K_2. Эти контакты устанавливаются на соответствующих делениях шкалы, вдоль которой перемещается, например, тележка.

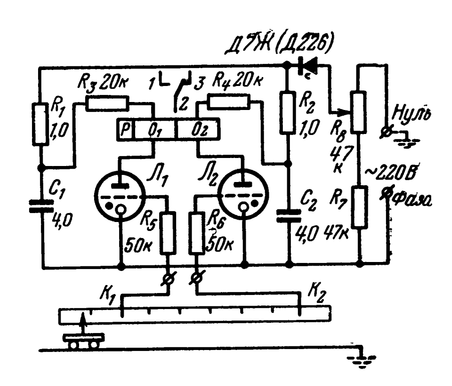


Рис. 49. Устройство для включения и выключения электрического секундомера.

При включении устройства в сеть необходимо следить, чтобы нулевой провод сети, обычно заземленный, подключался к анодным участкам цепи, а фаза попадала на катоды ламп. Напряжение, снимаемое с потенциометра R_8, устанавливается таким образом, чтобы амплитудное значение его было меньше напряжения зажигания разряда в тиратронах, когда контакты K_1 и K_2 свободны.

Автоматические измерения времени движения тележки на участке пути между контактами K_1 и K_2 осуществляются следующим образом. На тележке имеется указательная металлическая стрелка, к концу которой припаивается мягкая кисточка из медной мишуры. Если при движении тележки кисточка прикоснется к контакту K_1, то лампа $Л_1$ зажжется и ее разрядный ток, протекая через обмотку O_1, перебросит якорь реле *2* к контакту *1* и включит электрический секундомер.

При прикосновении кисточки к контакту K_2 зажигается лампа $Л_2$ и ее разрядный ток, возвращая якорь к контакту *3*, останавливает секундомер. Зажигание ламп происходит за счет того, что при прикосновении кисточки к контактам на сетки ламп по цепи нулевой провод — земля — тележка — контакт K_1 (или K_2) — резистор R_5 (или R_6) подается напряжение и в разрядном промежутке сетка — катод возникает ток, зажигающий анодный промежуток.

Устройство для управления освещением

С помощью устройства, представленного на рис. 50, осуществляется включение освещения только на время прохождения, например, по коридору индивидуальных домов. Освещение включается от прикосновения руки к ручке двери. При включенном тумблере *П* на анод тиратрона $Л_1$ (МТХ90) подается напряжение порядка 100 *в*. При этом лампа не зажигается. Однако если прикоснуться к ручке двери, то на сетку лампы $Л_1$ через человека с заземленного нулевого провода будет подано напряжение и лампа зажжется по цепи сетки (указанное на схеме заземление не нужно, так как в действи-

тельности оно уже имеется). Это вызывает зажигание разряда по цепи анода при положительном полупериоде переменного тока. В результате через обмотку O_1 реле P потечет ток, который вызовет его срабатывание. В результате замкнутся контакты *1* и *2*, которые включает лампу освещения *Л* и электронное реле времени на лампе $Л_2$ (МТХ90).

Пока конденсатор C_2 заряжается до напряжения зажигания лампы $Л_2$, освещение остается включенным. При зажигании лампы $Л_2$ через обмотку O_2 реле P, включенную навстречу обмотке O_1, потечет разрядный ток, контакт *1* снова замкнется с контактом *3*, свет погаснет и электронное реле времени выключится. При очередном прикосновении к одной из ручек дверей, связанных с сеткой лампы $Л_1$, процесс повторяется.

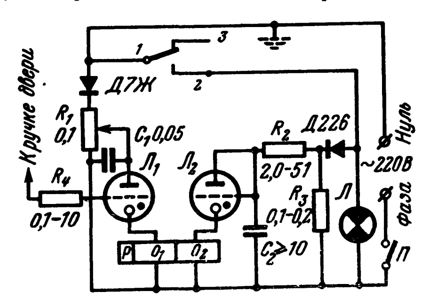


Рис. 50. Устройство для управления освещением.

Лампа $Л_1$ зажигается и в случае, когда в подъезд входят уже при включенном свете. В таких случаях при каждом зажигании лампы $Л_1$ происходит как бы сброс предшествующего времени включения освещения и тем самым исключается возможность оказаться в темноте на полпути. Это достигается за счет индуктивной связи в обмотках O_1 и O_2 электромагнитного реле.

В схеме используется двухпозиционное, поляризованое реле с сопротивлением каждой обмотки 8 500 *ом*. Чувствительность устройства можно регулировать с помощью потенциометра R_1. Для увеличения надежности выпрямителя при больших колебаниях температур полезно включать вспомогательный нагрузочный резистор R_3.

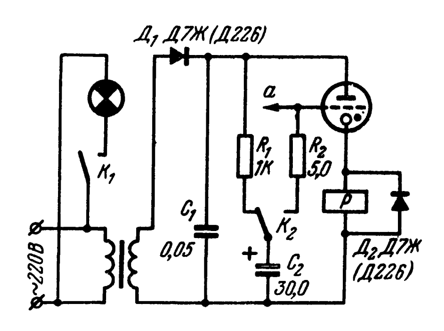


Рис. 51. Второй вариант устройства для управления освещением.

Если в предыдущем варианте для создания выдержки времени используется процесс заряда конденсатора до напряжения зажигания тиратрона, то в схеме на рис. 51, наоборот, используется процесс разряда заряженного конденсатора C_2.

Устройство питается через трансформатор, понижающий сетевое напряжение 220 до 127 *в*. При этом конденсаторы C_1 и C_2 находятся в заряженном состоянии и тиратрон МТХ90 не зажигается.

Если прикоснуться теперь к ручке двери, а следовательно, к проводнику *а*, соединенному с сеткой тиратрона, последний зажигается и срабатывает реле *Р*. Контакт K_1 замыкается и подключает к сети

лампу, освещающую помещение, а контакт K_2 этого же реле отключает конденсатор C_2 от зарядного резистора R_1 и подключает его через резистор R_2 к сетке тиратрона. Так как конденсатор заряжен, тиратрон продолжает гореть за счет наличия тока в цепи сетки.

Тиратрон будет гореть до тех пор, пока конденсатор не разрядится через резистор R_2 и сеточный промежуток до напряжения, при котором разряд в тиратроне погаснет. После гашения тиратрона контакт K_1 выключит освещение, а контакт K_2 поставит конденсатор C_2 на зарядку через резистор R_1, подготавливая устройство к дальнейшей работе.

Время заряда конденсатора C_2 до величины анодного напряжения составляет 0,4—0,7 *сек*. Выдержка времени включения освещения при сопротивлении резистора $R_2=5\div8$ *Мом* достигает 4 *мин*.

В качестве реле используется электромагнитное реле ПЭ-1. Можно использовать и другие реле с током срабатывания до 10 *ма*. Полупроводниковый диод $Д_2$, шунтирующий обмотку реле, обеспечивает надежное замыкание контактов.

Контакты реле ПЭ-1 допускают (при напряжении коммутируемой цепи 220 *в*) ток, равный 2,5 *а*. Так как реле ПЭ-1 имеет, кроме переключающегося контакта K_2, еще два переключающихся контакта, то суммарная мощность, которой может управлять устройство, равна 1,1 *ква*.

Двухпредельный сигнализатор уровня

Устройство (рис. 52) состоит из трех блоков: генератора импульсного напряжения *ГИМ*, датчиков уровня $Д_{макс}$ и $Д_{мин}$ и командного устройства *КУ* для включения исполнительного механизма.

Работа устройства рассматривается на примере поплавковых датчиков уровня жидкости. Однако его можно также применять в сочетании со многими другими индукционными датчиками.

Первичные катушки *А* и *Б* обоих датчиков соединены последовательно и подключены к генератору импульсного напряжения на лампе $Л_1$ типа МТХ90. Первичные (*А* и *Б*) и вторичные (*а* и *б*) катушки датчиков изолированы и располагаются одна над другой. При входе внутрь катушек пермаллоевых поплавков $П_1$ или $П_2$ во вторичных обмотках *а* или *б* индуцируются импульсы большой амплитуды, воздействующие на командное устройство.

Датчики максимального и минимального уровней можно смонтировать на общей стеклянной трубке, сообщающейся с резервуаром, и при этом использовать только один поплавок. Можно также изготовить датчики в виде отдельных узлов.

Генератор импульсов собран по схеме релаксатора, подобной схеме на рис. 37. Цепочкой R_2C_1 (рис. 52), связанной с сеткой триода $Л_1$ задается частота импульсов. Цепочкой R_3C_2 формируются импульсы для катушек датчиков уровня. Их амплитуда может достигать 100 *в*.

Питание первичных обмоток датчиков импульсами напряжения, разделенными длительными паузами, обеспечивает свободное перемещение поплавка. При питании катушки датчика переменным током легкий поплавок втягивался бы внутрь катушки. Импульсное питание значительно уменьшает нагревание поплавка вихревыми токами и позволяет обеспечить удобную сигнализацию редкими вспышками.

Принцип работы командного устройства следующий. С помощью потенциометра R_7 через диод и зарядный резистор R_6 конденсатор C_3 заряжается до напряжения, несколько меньшего напряжения зажигания ламп $Л_2$ и $Л_3$. При поступлении, например, на сетку лампы $Л_3$ положительного импульса напряжения со вторичной обмотки катушки датчика $Д_{мин}$ эта лампа зажигается и конденсатор C_3 начинает разряжаться через обмотку O_2 двухобмоточного поляризованного реле РП-4 и ограничительный резистор R_5. При этом раз-

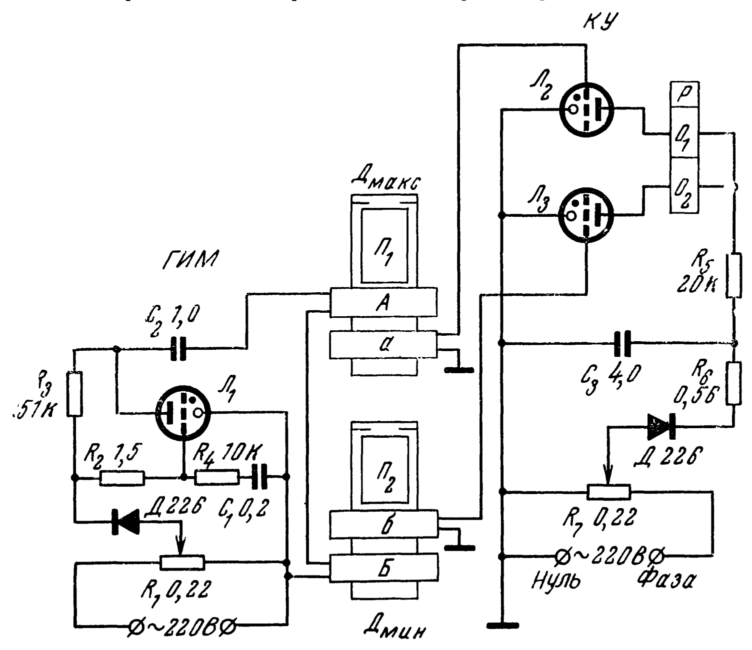


Рис. 52. Электрическая схема двухпредельного регулятора уровня.

рядный ток переключит контактную систему реле и включит непосредственно или через промежуточное реле сигнализатор или исполнительный механизм.

В новом положении якорь реле будет находиться до тех пор, пока уровень жидкости не дойдет до максимальной отметки, т. е. пока поплавок $П_1$ не войдет внутрь катушки датчика $Д_{макс}$.

После этого импульсы будут поступать на сетку лампы $Л_2$ и разрядный ток, протекающий через обмотку O_1, переключит контактную систему и подаст соответствующую команду исполнительному механизму.

В качестве световых сигнализаторов могут быть использованы $Л_1$, $Л_2$, $Л_3$. Если мигают лампы $Л_1$ и $Л_2$, то это означает, что резервуар заполнен до максимального уровня, если мигают лампы $Л_1$ и $Л_3$ — в резервуаре уровень жидкости минимальный, а если пе-

риодически вспыхивает только одна лампа $Л_1$, то это означает, что в резервуаре уровень жидкости нормальный.

При подключении командного устройства необходимо обратить внимание на фазировку и способ подключения сеток ламп. Это исключит возможность протекания паразитных токов в цепях сеток. Если вспышка одной лампы, например $Л_2$, будет вызывать одновременные вспышки другой лампы ($Л_3$), необходимо понизить напряжение, снимаемое с потенциометра R_7 или увеличить сопротивление резистора R_5.

Дистанционный уровнемер со световой сигнализацией

Устройство (рис. 53) осуществляет контроль за уровнем жидкости по ступеням. Оно состоит, также как и предыдущий регулятор уровня, из трех блоков: генератора импульсов напряжения, индукционного датчика уровня и сигнальной шкалы.

Генератор импульсов *ГИМ* собирается по схеме релаксатора, подобной схеме на рис. 52.

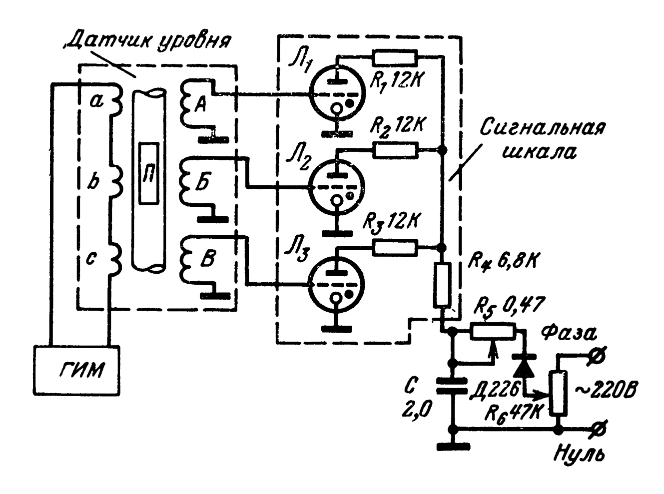


Рис. 53. Схема уровнемера со световой индикацией.

Датчик уровня представляет собой ряд двухобмоточных катушек, расположенных на заданном расстоянии друг от друга вдоль трубки, сообщающейся с резервуаром жидкости. Трубка изготовляется из неферромагнитного материала.

Все первичные обмотки *a, б с* и т. д. соединяются последовательно и включаются в анодную цепь лампы релаксатора. Вторичные обмотки (*А*, *В*, *С* и т. д.) подключаются в цепи соответствующих сеток ламп $Л_1$, $Л_2$, $Л_3$ и т. д., установленных на сигнальной шкале.

В трубке находится поплавок, изготовленный из пермаллоя. Длина поплавка должна перекрывать расстояние между двумя соседними катушками. При изменении уровня жидкости поплавок перемещается. При входе его внутрь катушки увеличивается индуктивная связь между обмотками этой катушки и во вторичной обмотке индуцируется импульс, достаточный для зажигания разряда в лампе, подключенной к данной катушке.

При перемещении поплавка на следующую контрольную ступеньку уровня загорается другая лампа.

Индикация сигнальными лампами может быть либо вспышками, синхронными со вспышками лампы релаксатора, либо непрерывным свечением. Переход от первого способа индикации ко второму осуществляется изменением сопротивления резистора R_5 или напряжения, снимаемого с потенциометра R_6.

Соотношение витков в обмотках катушек датчика подбирается опытным путем и определяются в основном количеством этих катушек. При налаживании устройства необходимо соблюдать фазировку сети, указанную на схеме.

Генератор импульсов к электрической изгороди

На рис. 54 приведена схема генератора импульсов высокого напряжения, который включается только в момент прикосновения животных к изгороди. При замыкании ключа *К* конденсатор *С* через резистор *R* заряжается от гальванической батареи $Б_1$ (110—140 *в*). Так как это напряжение меньше напряжения зажигания разрядного промежутка анод — катод триода $Л_1$ (МТХ90), то лампа не зажигается. При прикосновении животного к изгороди анод лампы замыкается сеткой. Это замыкание осуществляется по цепи: анод — земля — тело животного — изгородь — обмотка повышающего трансформатора — нормально замкнутые контакты *1* и *2* электромагнитного реле *Р*—сетка. При этом напряжение зажигания лампы уменьшается и лампа зажигается.

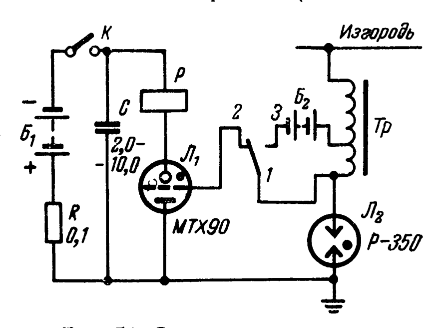


Рис. 54. Схема генератора импульсов к электрической изгороди.

При зажигании лампы конденсатор *С* разряжается через обмотку электромагнитного реле *Р* и оно срабатывает. В результате контакт *1* замыкается с контактом *3* и низковольтная батарея $Б_2$ (6 *в*) подключается к первичной обмотке повышающего трансформатора *Тр*. После кратковременного разряда конденсатора лампа гаснет, замыкаются контакты *1* и *2* и размыкается цепь первичной обмотки трансформатора. При этом в повышающей обмотке трансформатора возникает импульс высокого напряжения, который через провод изгороди и разрядник $Л_2$ (Р-350) подается на тело животного. После заряда конденсатора генератор вновь готов к действию. Если живот-

ное все еще находится в соприкосновении с изгородью, то импульс повторяется.

В качестве повышающего трансформатора можно использовать индукционную катушку зажигания типа КМО-1 от мотоцикла, а в качестве реле *Р* — любое реле. При конструктивном оформлении необходимо предусмотреть, чтобы солнечные лучи не попадали на лампу $Л_1$.

Фотореле на фотоэлементе и тиратроне

В фотореле (рис. 55,*а*) токи фотоэлемента типа ЦГ-3 усиливаются газоразрядным триодом МТХ90.

С делителя напряжения на резисторах R_1 и R_2 на разрядный промежуток анод — катод лампы (МТХ90) подается через полупроводниковый диод переменное напряжение порядка 110 *в*. При этом разряд в лампе не зажигается, так как амплитудное значение напряжения на аноде меньше напряжения зажигания лампы.

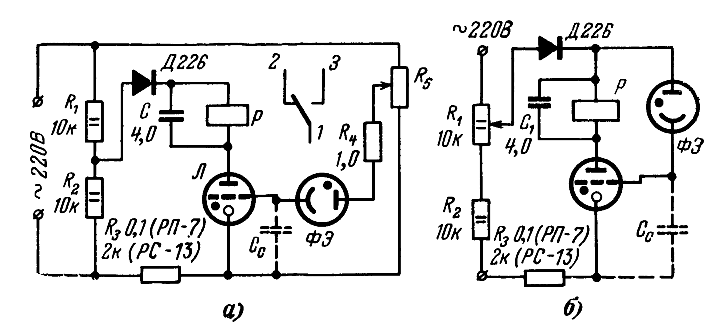


Рис. 55. Схемы фотореле с фотоэлементом.

Напряжение на фотоэлементе *ФЭ* берется таким, чтобы при отсутствии контрольного светового сигнала на фотоэлементе лампа не зажигалась.

Однако, как только на фотоэлемент попадает световой сигнал, ток в цепи сетки триода возрастает, лампа будет зажигаться при каждом положительном полупериоде и электромагнитное реле *Р* сработает, замкнув контакты *1* и *3*. При устранении светового сигнала разряд не зажигается и контакты *1* и *3* реле размыкаются.

В качестве электромагнитного реле в схеме используется поляризованное реле РП-7 или обычное реле типа РС-13. С помощью потенциометра R_5 фотореле легко настраивается на работу при любых световых условиях.

На схеме рис. 55,*б* приведен второй вариант фотореле. Если фотоэлемент затемнен, то сопротивление его велико и ток в цепи сетки недостаточен для зажигания анодного промежутка, однако при освещении фотоэлемента ток в цепи сетки возрастает и лампа зажигается. При этом электромагнитное реле срабатывает.

Для увеличения светочувствительности фотореле можно включить конденсатор C_c емкостью порядка 1 000 *пф*.

Фотореле с фоторезистором

В фотореле по схеме на рис. 56,*а* тиратрон зажигается фоторезистором *ФР*. Сопротивление резистора R_2 берется такого же порядка, как и сопротивление затемненного фоторезистора. При этом напряжение на сетке тиратрона получается меньше напряжения зажигания промежутка сетка — катод. При освещении *ФР* его внутреннее сопротивление уменьшается и соотношение сопротивлений плеч делителя *ФР*—R_2 изменяется. В результате напряжение на сетке и ток в ее цепи возрастают, тиратрон зажигается и реле срабатывает. Реле берется типа РС-13 и РП-7.

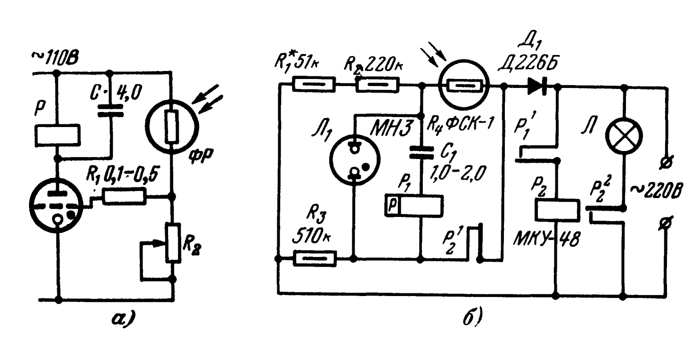


Рис. 56. Схемы фотореле с фоторезистором.

Если фоторезистор *ФР* и R_2 поменять местами и подобрать соответствующее значение R_2, то реле будет срабатывать при затемнении фоторезистора.

Фотореле по схеме на рис. 56,*б* можно использовать для включения ночного освещения. В этом автомате сопротивление цепочки резисторов R_1, R_2 и фоторезистора R_4 может изменяться в довольно широких пределах из-за сильной зависимости сопротивления фоторезистора от освещенности. Так как сопротивление фоторезистора при его освещении уменьшается, то в дневное время большая часть напряжения питания падает на резисторах R_1 и R_2. С наступлением темноты (затемнение R_4) падение напряжения на фоторезисторе увеличивается. Вместе с тем растет напряжение на конденсаторе C_1, так как он подключен параллельно фоторезистору (через обмотку реле P_1 и нормально замкнутые контакты P_2^1). Как только напряжение на конденсаторе достигает напряжения зажигания неоновой лампы, она зажигается и по цепи неоновая лампа — обмотка реле P_1 протекает импульс разрядного тока конденсатора. Поэтому реле P_1 срабатывает и контактами P_1^1 замыкает цепь питания мощного реле P_2 (МКУ-48), которое контактами P_2^2 замыкает цепь питания осветительной лампы *Л*. После срабатывания реле P_1 его контакты остаются замкнутыми и удерживают реле P_2 во включенном состоянии до тех пор, пока через обмотку реле P_1 не пройдет импульс тока обратной полярности и его якорь перекинется в другое положение.

После срабатывания реле P_1 вследствие размыкания контактов P_2^1 конденсатор C_1 оказывается подключенным через резистор R_3 параллельно резисторам R_1 и R_2. При этом полярность на конденсаторе изменяется на обратную. Но падение напряжения на резисторах R_1 и R_2 недостаточно, чтобы зарядить конденсатор до напряжения зажигания неоновой лампы. Поэтому повторного срабатывания реле не происходит. С рассветом (при освещении фоторезистора) падение напряжения на фоторезисторе убывает, а на резисторах R_1 и R_2 увеличивается до напряжения зажигания неоновой

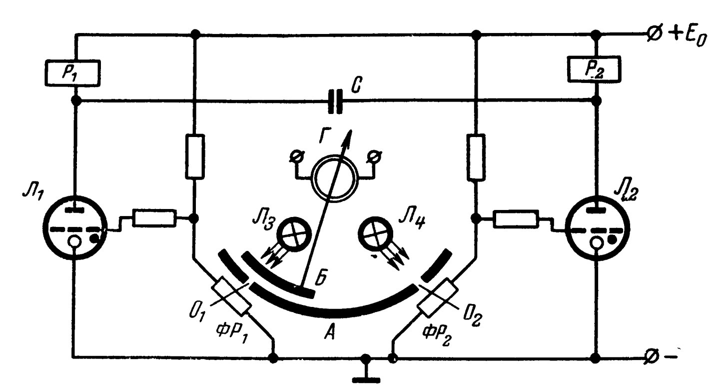


Рис. 57. Схема фстоэлектрического регулятора.

лампы. При этом конденсатор C_1 сначала заряжается, а потом разряжается через неоновую лампу и обмотку реле. Во время разряда конденсатора по обмотке реле протекает ток обратного направления, якорь его перебрасывается и разрывает цепь питания реле P_2, которое и отключает нагрузку.

Сопротивление резистора R_1 (в пределах 30—100 *ком*) подбирают при настройке фотореле. Резистор R_3 при включенной нагрузке предотвращает короткое замыкание выпрямителя, а при выключенной нагрузке образует цепь заряда конденсатора C_1.

На схеме рис. 57 показано, как можно реле, подобное выполненному по схеме на рис. 56,*а*, применить для контроля и регулирования. В шкале *А* измерительного прибора имеются прорези O_1 и O_2. На стрелку прибора наклеен легкий флажок *Б*, который перекрывает свет от ламп $Л_3$ и $Л_4$, падающий на фоторезисторы $ФР_1$ и $ФР_2$. При положении стрелки, указанном на рисунке, затемняется $ФР_1$. В результате тиратрон $Л_1$ зажигается и срабатывает реле P_1. Если флажок стрелки затемняет $ФР_2$, то срабатывает реле P_2, а тиратрон $Л_1$ гасится «опрокидывающим» конденсатором *С*.

Ионные фотореле

Ионному фотореле свойственно то, что в нем газоразрядная лампа с активированным катодом выполняет одновременно функции светочувствительного элемента и усилителя фототоков. В качестве такой лампы можно использовать лампу МТХ90. Ее светочувстви-

тельность можно иллюстрировать графиком на рис. 27 (при $I_c=0$). Из графика видно, что напряжение зажигания промежутка анод — катод значительно зависит от светового потока Φ, падающего на торец лампы. Наибольшая светочувствительность проявляется только при напряжениях, близких к напряжению зажигания тиратрона в темноте. Если же на лампу подать напряжение на 70—100 *в* ниже, чем напряжение зажигания в темноте, то для зажигания лампы необходимы очень большие световые потоки и поэтому лампу МТХ90 при таких напряжениях практически можно считать нечувствительной к свету.

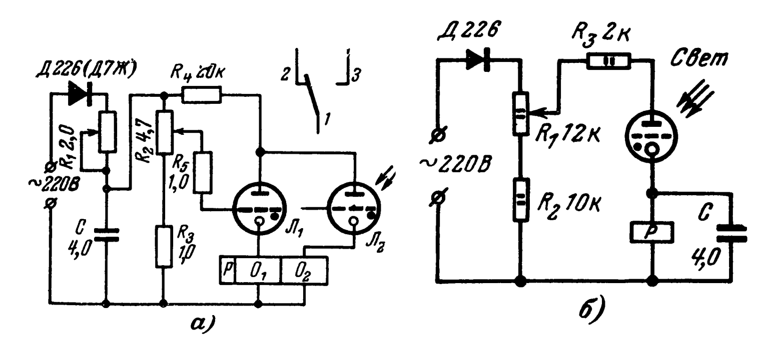


Рис. 58. Схемы ионных фотореле.

Рассмотрим принцип работы ионного фотореле, схема которого изображена на рис. 58,*а*. Параллельно конденсатору *С*, заряжающемуся через резистор R_1, подключены два триода $Л_1$ и $Л_2$ (МТХ90), в катодные цепи которых подключены обмотки $О_1$ и $О_2$ двухпозиционного поляризованного реле *Р* (РП-4). Резистор R_4 ограничивает ток в лампах.

С помощью потенциометра R_2 напряжение зажигания лампы $Л_1$ устанавливается ниже напряжения зажигания лампы $Л_2$, поэтому в темноте релаксационные колебания будут иметь место только в цепи лампы $Л_1$.

При освещении лампы $Л_2$ релаксационные колебания в цепи лампы $Л_1$ прекращаются, а в цепи лампы $Л_2$ начинаются, так как ее напряжение зажигания стало меньше, чем у лампы $Л_1$. При первой вспышке лампы $Л_2$ разрядный ток, протекающий по обмотке, перебросит якорь реле и замкнутся контакты *1* и *3*. В таком положении якорь будет находиться все время, пока лампа $Л_2$ будет освещена световым сигналом.

Как только световой поток будет перекрыт, начнутся релаксационные колебания в цепи лампы $Л_1$ и током в обмотке $О_1$ якорь реле будет возвращен в исходное положение (замкнутся контакты *1* и *2*).

Настройка фотореле сводится лишь к подбору сопротивления резистора R_1, при котором будут происходить релаксационные колебания желаемой частоты, и подбору резистором R_2 соответствующего напряжения зажигания лампы $Л_1$.

Для нормальной работы ионного фотореле необходимо, чтобы при отсутствии светового сигнала освещенность катода лампы $Л_2$

была небольшой, а световой поток сигнала должен быть значительным. Так как активной частью цилиндрического катода МТХ90 является только его внутренняя часть, то световой поток сигнала должен падать почти перпендикулярно торцу лампы.

На рис. 58,*б* приведен второй вариант ионного фотореле. При затемненном тиратроне с помощью потенциометра R_1 на анодный промежуток подается напряжение несколько меньше, чем напряжение зажигания. При облучении МТХ90 светом напряжение зажигания анодного промежутка уменьшается, лампа зажигается, а реле срабатывает. Отпускает реле сразу же после устранения светового сигнала.

Светосинхронизатор

Иногда при фотографировании необходимо применить несколько ламп-фотовспышек. При этом необходима синхронизация этих вспышек, т. е. вспышки должны возникать в одно и то же время с точностью до тысячных долей секунды. На рис. 14,*б* приведен очень простой синхронизатор, состоящий из лампы МТХ90 и резистора R_3.

Принцип его действия основан на влиянии света на напряжение зажигания тиратрона МТХ90. Лампу МТХ90 подсоединяют параллельно механическому синхроконтакту *СК* и на нее подают напряжение, близкое к напряжению зажигания. При вспышке другой импульсной лампы лампа МТХ90 зажигается и конденсатор C_2, разряжаясь через нее и первичную обмотку трансформатора, возбуждает импульс, поджигающий дублирующую лампу-фотовспышку.

Для регулирования напряжения на МТХ90 применен переменный резистор R_3, образующей вместе с резистором R_2 делитель напряжения. Плавно перемещая ползунок резистора R_3, увеличивают напряжение на лампе, начиная от нуля, до тех пор, пока не произойдет вспышка лампы МТХ90 и фотовспышка. Затем сопротивление резистора R_3 несколько уменьшают, и на этом настройка заканчивается.

Конструктивно МТХ90 можно заключить в наконечник от авторучки и с помощью специального штепсельного разъема подключать к импульсной лампе. Резистор R_3 можно припаять параллельно лампе МТХ90 и через тот же штепсельный разъем оба элемента подключить к контактам *СК*. «Нацеливание» МТХ90 на нужную лампу позволяет синхронизировать только избранные лампы.

Индикатор радиоактивного излучения

Схема наиболее простого индикатора приведена на рис. 59. Пока счетчик АММ-13 не подвергается радиоактивному облучению, почти все напряжение батарей оказывается приложенным к его электродам. Это обусловлено тем, что емкость счетчика во много раз меньше, чем суммарная емкость неоновой лампочки $Л_1$ и конденсатора *С*, а постоянное напряжение на конденсаторах, как известно, распределяется обратно пропорционально их емкости (при отсутствии утечки).

При радиоактивном облучении в счетчике возникают импульсы тока, вследствие чего конденсатор *С* заряжается. Емкость конденсатора подобрана так, что через определенное число импульсов напряжение на нем достигает напряжения зажигания неоновой лампочки

$Л_1$. При зажигании лампы $Л_1$ конденсатор разрядится, а в головных телефонах *Тл* будет слышен щелчок. Чем больше мощность дозы излучения, тем чаще будет вспыхивать лампочка $Л_1$ и тем чаще будут слышны щелчки в телефонах. Для определения мощности дозы по частоте щелчков для каждого прибора составляется градуировочная таблица.

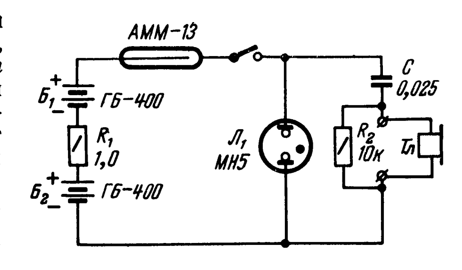


Рис. 59. Индикатор радиоактивного излучения.

Сигнализатор радиоактивности

Сигнализатор радиоактивности (рис. 60) включает реле только при наличии уровня излучений 150—200 *имп/сек* (на расстоянии 1 *м* от кобальтового источника с активностью порядка 3 *мкюри*).

На сетку тиратрона МТХ90 подано переменное напряжение от обмотки трансформатора с напряжением U_2, равным 60 *в*, но этого напряжения недостаточно для зажигания разряда в лампе.

При отсутствии специального облучения счетчика СТС-6 импульсы фона сглаживаются цепочкой R_1C_1 и создают на нагрузочном резисторе R_2 постоянное добавочное напряжение, подводимое через резистор R_2 к сетке. Однако и в этом случае лампа МТХ90 не зажигается.

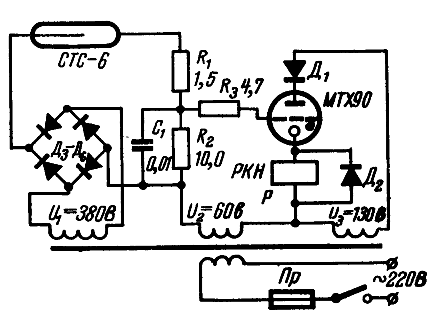


Рис. 60. Сигнализатор радиоактивности.

При наличии облучения возрастает число импульсов в счетчике, вследствие чего увеличивается и средний ток в нагрузочной цепи. Соответственно возрастают потенциал на сетке и ток в цепи сетки лампы. При достижении этим током величины тока зажигания лампа зажигается и пропускает ток по цепи анод—катод, питающейся от обмотки трансформатора с напряжением U_3, равным 130 *в*. При этом реле *Р* (типа РКН) в катодной цепи МТХ90 срабатывает и включает соответствующие сигнальные устройства.

При прекращении облучения ток в цепи сетки снижается и разряд в лампе гаснет, так как она питается переменным напряжением. При этом контакт реле размыкается. Диод $Д_1$ ограничивает обратный ток лампы МТХ90.

Демонстрационный радиометр

Прибор (рис. 61) состоит из газоразрядного галогенного счетчика, тиратронного усилителя импульсов и источника питания, роль которого выполняет транзисторный преобразователь напряжения.

Преобразователь напряжения представляет собой блокинг-генератор на транзисторе T_1 с питанием от батареи $Б_1$. Импульсы высокого напряжения, возникающие на повышающей обмотке *4—6* трансформатора $Тр_1$, выпрямляются с умножением напряжения. Высокое положительное напряжение (около 380 *в*) на анод счетчика подается через его нагрузочный резистор R_6. В исходном состоянии радиометра постоянная составляющая напряжения преобразователя через резистор R_9 заряжает конденсатор C_{11} до 140—150 *в*, а переменная

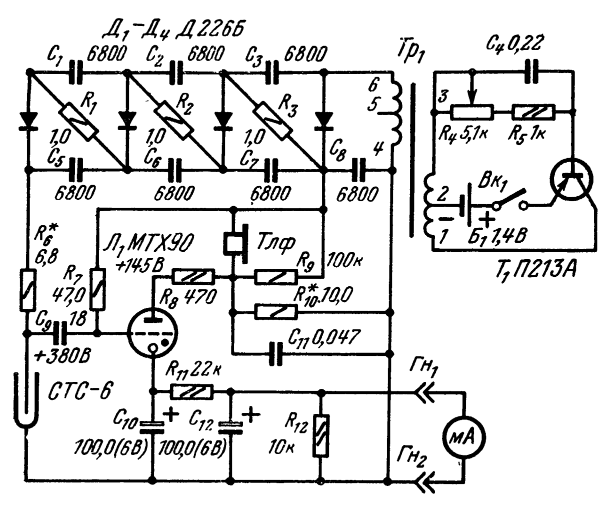


Рис. 61. Демонстрационный радиометр.

составляющая приложена к пьезотелефону *Тлф*, который воспроизводит тон пульсацией преобразователя. Вследствие протекания слабого тока через резистор R_7 между управляющим электродом и катодом тиратрона $Л_1$ устанавливается подготовительный разряд.

Воздействующее на счетчик радиоактивное излучение вызывает ионизацию наполняющего его газа, вследствие чего проводимость счетчика увеличивается и напряжение на нем резко падает. Отрицательный перепад напряжения на счетчике через конденсатор C_9 поступает на сетку тиратрона в виде кратковременного импульса. Это приводит к ионизации промежутка анод — катод и разряду через него конденсатора C_{11}, что сопровождается яркой вспышкой тиратрона. Одновременно изменяется величина напряжения на телефоне *Тлф* и возникает громкий щелчок. По окончании разряда конденсатора C_{11} происходит деионизация газа в тиратроне и восстановление заряда на C_{11}, после чего радиометр готов к регистрации следующего импульса.

При каждой вспышке тиратрона заряд, накопленный ранее конденсатором C_{11}, передается конденсатору C_{10}, так что напряжение на нем пропорционально частоте вспышек тиратрона и, следовательно, мощности дозы регистрируемого излучения. Микроамперметр, подключаемый к конденсатору C_{10} через интегрирующую цепочку R_{11} и C_{12}, может быть проградуирован в единицах мощности дозы.

Измерительный прибор присоединяют к радиометру через гнезда $Гн_1$ и $Гн_2$, зашунтированные резистором R_{12}, который предотвращает пробой конденсаторов $C_{10}C_{12}$ в случае длительного накопления на них заряда при отключенном от радиометра измерительном приборе.

В описываемом радиометре можно применить любой галогенный счетчик излучений с рабочим напряжением 360—440 *в*. Наиболее доступны счетчики типов СТС-6 и СТС-5, регистрирующие β- и γ-излучения, и СТС-1 и СТС-8, регистрирующие γ-излучение.

Источником питания радиометра служит один элемент батареи типа КБС-Л-0,50. Пригодны элементы и других типов.

Трансформатор $Тр_1$ преобразователя напряжения самодельный. Он намотан на сердечнике из электротехнической стали сечением 0,5 *см*² (можно увеличить до 1—1,5 *см*²). Обмотка *1—2* содержит 50 витков провода ПЭВ 0,25, обмотка *2—3—125* витков ПЭВ 0,1, обмотка *4—5*—6 000 витков ПЭВ 0,05—0,08 и обмотка *5—6*—200 витков ПЭВ 0,05—0,08. Обмотки *1—2* и *2—3* намотаны виток к витку, а обмотки *4—5* и *5—6* «внавал». Повышающая обмотка *(4—6)* должна быть отделена от низковольтных слоем лакоткани или тремя-четырьмя слоями парафинированной бумаги. Один слой такой бумаги прокладывается через каждые 1 000 витков повышающей обмотки. После сборки трансформатора его следует пропитать расплавленным парафином или церезином.

В качестве стрелочного измерительного прибора может использоваться любой микроамперметр на ток 50—100 *мка* с достаточно большой шкалой или демонстрационный гальванометр.

Триггеры

Триггер — один из наиболее распространенных элементов схем вычислительной техники. Он удобен для счета по двоичной системе счисления, положенной в основу машинной математики. Наиболее распространены двухламповые триггеры с общим резистором в цепи анодов тиратронов и триггеры с «опрокидывающим» конденсатором.

Триггер с общим резистором $R_а$ в цепи анодов (рис. 62) работает следующим образом. Лампы горят поочередно. Если горит лампа $Л_1$, то катодный конденсатор $C'_к$ заряжен, а $C''_к$ разряжен. Пуско-

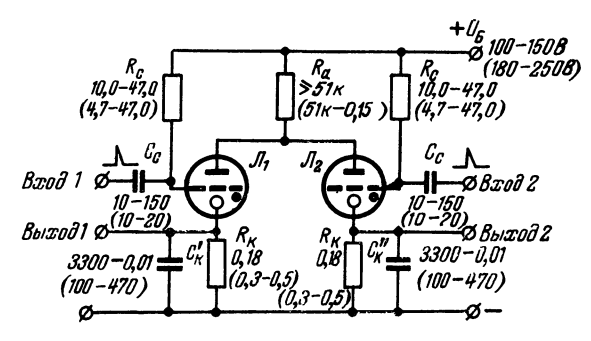


Рис. 62. Двухламповый триггер с общим резистором в цепи анода.

вой импульс, появившийся на сетке лампы $Л_2$, зажигает ее. В этот момент в резисторе $R_а$ имеет место резкий скачок тока, возникший при зарядке конденсатора $C''_к$ через вспыхнувшую лампу $Л_2$. В результате падение напряжения на резисторе $R_а$ мгновенно возрастает, а напряжение $U_а$ на разрядном промежутке анод — катод лампы $Л_1$ соответственно скачком уменьшается (конденсатор $C_к$ еще не успел разрядиться) и становится меньше напряжения, минимально необходимого для поддерживания горения этой лампы. Лампа $Л_1$ гаснет. Лампа $Л_2$ не погаснет, так как конденсатор $C''_к$ не успеет сразу зарядиться и напряжение на лампе будет достаточным для поддержания горения. Лампа $Л_2$ остается зажженной до прихода импульса на первый вход. Аналогично пусковой импульс, поступивший на вход лампы $Л_1$, зажигает ее и при этом гасит лампу $Л_2$.

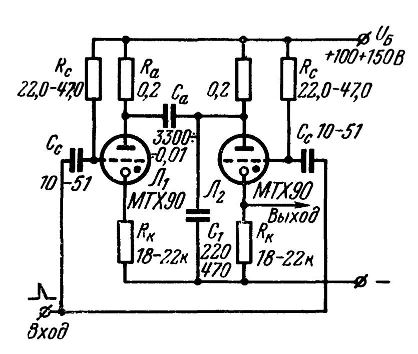


Рис. 63. Двухламповый триггер на тиратронах МТХ90 с межанодным конденсатором.

На рассмотренной схеме в скобках указаны параметры элементов для случая использования тиратрона ТХ4Б в триодном режиме.

Схема триггера с межанодным (опрокидывающим) конденсатором (рис. 63) работает так. Пусть горит лампа $Л_1$. Межанодный конденсатор $C_а$ будет заряжен до напряжения $U_б - U_г$, равного падению напряжения на анодном резисторе проводящей лампы $Л_1$. Появившийся на общем входе пусковой импульс на горящую лампу $Л_1$ не действует, он зажигает лампу $Л_2$. При этом потенциал на аноде лампы $Л_2$ падает от потенциала $+U_б$ до потенциала горения $+U_г$, т. е. на величину около 50 *в*.

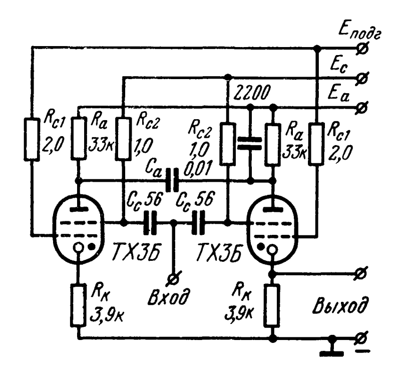


Рис. 64. Двухламповый триггер на тиратронах ТХ3Б с межанодным конденсатором.

Соответственно должен разрядиться и конденсатор $C_а$. Этот скачок напряжения передается на горевшую лампу $Л_1$ и снижает напряжение на последней ниже напряжения горения, и лампа $Л_1$ гаснет. Затем на аноде погашенной лампы напряжение восстанавливается до напряжения батареи по мере того, как конденсатор $C_а$ заряжается через анодный резистор погашенной лампы. Лампа $Л_2$ остается в зажженном состоянии до поступления очередного импульса на вход. При появлении такого сигнала зажигается вновь лампа

$Л_1$ и этим же опрокидывающим конденсатором аналогично гасится лампа $Л_2$. Далее процесс повторяется.

Назначение других элементов схемы таково. С дополнительного резистора $R_к$, включенного в цепь катода лампы, снимается выходной импульс. Этот резистор имеет сопротивление, примерно в 10 раз меньшее, чем резистор в анодной цепи. Соответственно падение напряжения на выходном резисторе невелико. Для создания на этом резисторе выходного импульса большей амплитуды в схему введен конденсатор C_1, который, разряжаясь через дополнительный резистор при срабатывании лампы $Л_2$, повышает амплитуду выходного импульса до нескольких десятков вольт.

На рис. 64 приведена аналогичная схема триггера «с опрокидывающим» конденсатором на тиратронах ТХ3Б в тетродном включении. Триггер запускается входными импульсами амплитудным напряжением $U_{вх} \geqslant 35$ *в*, продолжительностью $\tau_{вх} \geqslant 10$ *мксек* и частотой до 600 *гц*. На выходе триггера формируется импульс с напряжением $U_{вых} \geqslant 50$ *в*. Названные характеристики схема имеет при изменениях напряжения анодного питания $E_а$ и напряжения подготовительного разряда $E_{подг}$ от 180 до 190 *в*, напряжения смещения $E_с$ от 50 до 55 *в*, при десятипроцентных отклонениях параметров деталей схемы от номинальных значений.

Приведенные схемы двухламповых триггеров могут работать с раздельными входами и с общим (счетным) входом. Их можно применить, например, для построения счетчиков электрических импульсов и пересчетных схем.

Счетчик импульсов по двоичной системе счисления

В счетчике импульсов (рис. 65) применены триггеры на МТХ90 с общим резистором в цепи анода (рис. 62). При десяти пересчетных ячейках емкость счетчика составит 1 024 импульсов. На схеме счетчика изображены только две пересчетные ячейки, а остальные ячейки аналогичны.

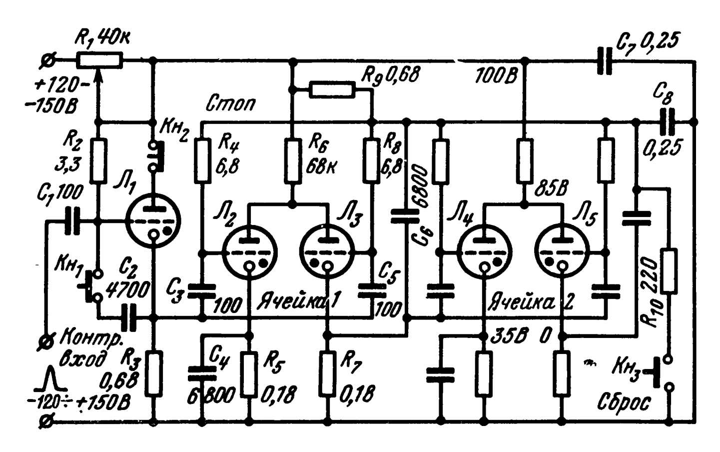


Рис. 65. Счетчик импульсов по двоичной системе исчисления.

Кроме пересчетных ячеек, в схеме содержится формирователь импульсов на лампе $Л_1$ и предусмотрены контроль работы счетчика, остановка пересчета и сброс показаний.

Напряжение на аноды ламп подается с развязывающего фильтра R_1C_7, а для поддержания подготовительного разряда в сетках применен развязывающий фильтр R_9C_8.

Для начала счета ячейки должны быть установлены в нулевое состояние, которому соответствует зажигание правых ламп каждой ячейки. Последнее достигается кратковременным нажатием кнопки сброса $Кн_3$; причем резистором R_{10} шунтируется конденсатор C_3, снижается напряжение на сетках (кроме $Л_1$) и прекращается подготовительный разряд в лампах пересчетных ячеек. При нажатии этой же кнопки конденсатор C_6 разряжается через резисторы R_{10} и R_7 и возникшее на катодном резисторе R_7 дополнительное напряжение зажигает правую лампу $Л_3$ ячейки *1*. Подобным же образом осуществляется зажигание нулевых (правых) ламп и в других ячейках.

Поступающие на вход счетчика импульсы формируются каскадом на лампе $Л_1$ и с ее катодного резистора поступают на сетки ламп первой ячейки. Первый импульс зажигает лампу $Л_2$ и гасит нулевую лампу $Л_3$. Состояние остальных ячеек не изменяется. Следовательно, зажигание левой лампы первой ячейки выдает отсчет *1*.

Второй импульс возвращает первую ячейку в нулевое состояние, т. е. зажигает $Л_3$ и гасит $Л_2$; причем на выходе этой ячейки (на резисторе R_7) возникает положительный импульс, который поступает на вход второй ячейки. Этим импульсом во второй ячейке зажигается левая лампа $Л_4$ и гасится нулевая лампа $Л_5$. Свечение лампы $Л_4$ выдает отсчет *2*.

Легко проследить, что при третьем импульсе зажигаются обе названные счетные лампы «1» и «2». Итоговый отсчет соответствует сумме показаний этих счетных ламп 1+2=3. После четырех импульсов будет гореть только левая (счетная) лампа третьей ячейки, которая выдает результат *4* и т. д.

Таким образом, левые лампы каждой ячейки являются «счетными» лампами и выдают сответственно *1, 2, 4, 8, 16, ...*, 2^n, где n — число ячеек. Для облегчения отсчета эти лампы надписываются и только они выносятся на лицевую панель счетчика. При снятии итогового результата показания зажженных «счетных» ламп суммируются.

Максимальная скорость счета данной схемы 500 *имп/сек*.

В зависимости от назначения счетчика число ячеек может быть увеличено или уменьшено, причем для увеличения емкости счетчика к выходу его последней ячейки (к катоду ее правого тиратрона) можно присоединить формирователь с электромеханическим счетчиком по схеме на рис. 40,*а*.

Мультивибратор

В мультивибраторе в отличие от триггера лампы поочередно зажигаются не за счет внешних пусковых импульсов, а в результате действия импульсов, которые формируются в этих же схемах.

Одна из схем мультивибратора приведена на рис. 66. Она снабжена выпрямителем питания от сети. Пусковые импульсы, зажигающие лампы, формируются в цепях сеток ламп так же, как в релаксаторах. Сеточный времязадающий конденсатор C_2 поочередно перезаряжается до напряжения зажигания каждой из ламп через за-

рядные сеточные резисторы R_2 и R_3. Гасятся лампы так же, как в схеме триггера с «опрокидывающим» конденсатором (рис. 63).

В анодную цепь одной из ламп включено электромагнитное реле P с омическим сопротивлением обмотки 5—10 *ком*. Оно периодически включается при работе мультивибратора с заданной частотой. Частоту можно регулировать в широком диапазоне, изменяя R_2 и C_2. Приведенную схему можно применить для автоматического переключения различных устройств, например в автоматике. В бытовых условиях она может быть использована для переключения елочных гирлянд.

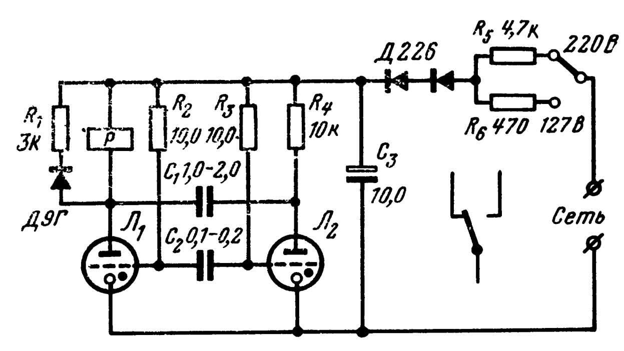


Рис. 66. Мультивибратор с реле для переключения.

Обе лампы можно укрепить в глазных отверстиях маскарадной маски деда мороза или какого-либо зверька. Это эффективно: одновременно зажигаются глаза и гирлянды. Если подходящего реле нет, то можно перемотать обмотку любого реле, используя для этого провод диаметром 0,06—0,07 *мм*.

Счетные декады

На рис. 67 приведена декада кольцевой счетной схемы на лампах МТХ90. Напряжение на аноды ламп подается через один общий резистор $R_{а\,г}$. Это питающее напряжение должно быть больше напряжения горения, но меньше напряжения самозажигания ламп по аноду. Во всех лампах с помощью сеточных резисторов $R_с$ устанавливается ток подготовки.

При поступлении на вход импульса положительной полярности с амплитудой 60—90 *в* и длительностью 20—50 *мксек* в зависимости от порядкового номера импульса зажигается и горит лишь одна из десяти ламп *0*, *1*, *2*, ..., *9*. Кроме этих десяти ламп, декада содержит выходную лампу *Л*, формирующую импульсы для запуска следующей декады.

Очередность зажигания ламп по мере поступления пусковых импульсов осуществляется с помощью полупроводниковых диодов типа Д9Ж, Д9Л, или Д105. Пусть, например, декада находится в исходном «нулевом» положении и горит лампа *0*. При этом в нулевой ячейке на катодном резисторе $R_к$ возникает падение напряжения и

катодный конденсатор $C_к$ оказывается заряженным, а диод, присоединенный к нему, этим напряжением будет заперт.

Таким образом, создаются условия для гашения лампы *0* в момент поступления пускового импульса и обеспечивается подготовка к зажиганию лампы *1*.

При появлении первого импульса, поступающего одновременно через $R_{вх}$ на все лампы, загорится лишь эта подготовленная лампа *1*, так как пусковой импульс только в ней пройдет через конденсатор $C_с$ на сетку. В других же ячейках импульс уходит через открытые диоды на незаряженные катодные конденсаторы и, таким образом, импульс закорачивается через диод и конденсатор, а следовательно, не попадает на сетки неподготовленных ламп. После зажигания лампы *1* гаснет лампа *0* и оказывается подготовленной лампа *2*. При поступлении на вход второго импульса загорается лампа *2* и подготавливается лампа *3*, а лампа *1* гаснет и т. д.

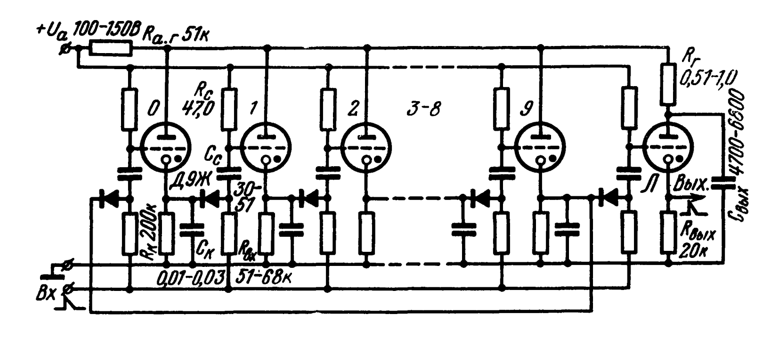


Рис. 67. Счетная декада на лампах МТХ90.

Причины гашения горевшей лампы таковы. В момент зажигания, например, лампы *1* в общем резисторе $R_{а.г}$ имеет место резкий скачок тока, возникающий при зарядке через вспыхнувшую лампу *1* катодного конденсатора этой лампы. В результате падение напряжения на резисторе $R_{а.г}$ мгновенно возрастает, а напряжение на разрядном промежутке анод — катод горевшей лампы *0* соответственно скачком уменьшается (ее катодный конденсатор еще не успел разрядиться) и становится меньше напряжения, минимально необходимого для поддержания горения этой лампы. Поэтому лампа *0* гаснет. Лампа же *1* не погаснет, так как ее катодный конденсатор не успевает сразу зарядиться, и напряжение на лампе будет достаточным для поддержания горения. Лампа *1* остается гореть до прихода на вход следующего импульса, который аналогичным же образом зажигает лампу *2* и гасит лампу *1* и т. д.

При поступлении десятого импульса вновь зажигается нулевая лампа и на мгновение вспыхивает выходная лампа *Л*, фиксирующая десятки. При этом импульс напряжения с *Выхода* подается на запуск следующей декады.

Таким образом, число зарегистрированных импульсов читается по номерам горящих ламп последовательно соединенных декад, каждая из которых соответственно выдает единицы, десятки, сотни

и т. д. С помощью выходной лампы можно включить также какие-либо другие регистрирующие устройства.

На рис. 68 та же кольцевая счетная схема видоизменена с целью подключения цифровой неоновой индикаторной лампы ИН-2 или ИН-4. Для управления цифровой лампой на ее катод, соответствующий нужной цифре, необходимо подать отрицательный сигнал напряжением 50—100 *в* и более. Для этого в анодные цепи всех ламп МТХ90 включены дополнительные нагрузочные резисторы $R_а$ и конденсаторы $C_а$. Они выбраны с тем расчетом, чтобы обеспечить в анодной цепи сигналы порядка 50 *в* для работы цифровой лампы и сохранить сигналы 20—30 *в* в катодной цепи с целью подготовки очередной лампы МТХ90.

Запуск ламп производится сигналами от формирователя-усилителя импульсов, описанного ранее.

Потребляемая мощность одной пересчетной кольцевой декады с цифровой лампой составляет 0,9 *вт*, максимальная частота 10—50 *кгц*.

Рассмотренные счетные схемы можно широко применять и для построения распределителей, электронных переключателей и других устройств.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 28 коп.